Aus dem Anatomischen Institut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. H. Bluntschli

Die Verteilung anorganischer Stoffe in Nierenkanälchen verschiedenen Funktionszustandes

(mit 24 Abbildungen)

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der
Universität Bern
vorgelegt von

Franz Meier
von Etziken (Solothurn)

Verlag Paul Haupt, Akademische Buchhandlung, Bern
1941

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. Hintzsche von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 25. Juni 1941.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:

Bluntschli

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. H. Bluntschli

Die Verteilung anorganischer Stoffe in Nierenkanälchen verschiedenen Funktionszustandes

(mit 24 Abbildungen)

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der
Universität Bern
vorgelegt von

Franz Meier
von Etziken (Solothurn)

Verlag Paul Haupt, Akademische Buchhandlung, Bern
1941

Inhaltsübersicht

Einleitung 3

Untersuchungsart 4

Schrifttum 6

A. Das Aschenbild der Säugerniere 6

B. Die Kaliumverteilung in der Säugerniere 10

Befunde 14

A. Das Aschenbild der Meerschweinchenniere 14

B. Die Kaliumverteilung in der Niere des Meerschweinchens . 25

Auswertung der Befunde 29

Zusammenfassung der Ergebnisse 36

Literaturverzeichnis 38

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Die Verteilung anorganischer Stoffe in Nierenkanälchen verschiedenen Funktionszustandes

Einleitung

Ausgedehnte Studien über die mikroskopische Anatomie der Nieren haben die Vorgänge bei der Harnabsonderung bisher nicht zu klären vermocht. Den immer wieder von geübten und zuverlässigen Forschern in verschiedenen Abschnitten des Nephrons beschriebenen Zeichen einer sekretorischen Tätigkeit stehen die ebenso schwer wiegenden Bedenken anderer Untersucher gegenüber, dass es sich bei solchen Bildern um Kunstprodukte mannigfacher Art handeln kann. Selbst wenn man versucht, den Tätigkeitszustand der Niere im Moment der Fixation möglichst genau zu berücksichtigen, bleibt doch der wechselnde Anteil der einzelnen Nephrone an der Harnbereitung ein erheblicher Hinderungsgrund, um feinere Unterschiede in den Zellen gleicher Kanälchenabschnitte auf einen bestimmten Teil der Harnabsonderung zu beziehen. Sofern also ausschliesslich die übliche Technik der Untersuchung von gefärbten Schnitten fixierter Präparate angewandt wird, ist wohl auch in Zukunft kaum eine sichere Klärung der Frage zu erwarten, welchen Anteil Sekretion und Rückresorption bei der Konzentrierung der normalen Harnbestandteile haben.

Mikroskopische Untersuchungen über das Verhalten von normalerweise im Harn vorkommenden Stoffen bleiben aber weiterhin notwendig, ehe z. B. die gut geklärten Vorgänge bei der Ausscheidung intravital zugeführter Farbstoffe als allgemein gültig für die Arbeitsweise der Nieren anerkannt werden können. Einen Versuch in dieser Richtung stellen die folgenden Beobachtungen dar, die sich auf den Nachweis der Lage anorganischer Stoffe in Nierenkanälchen von verschiedenem Funktionszustand beziehen.

Untersuchungsart

Für den Nachweis der Verteilung anorganischer Substanzen im mikroskopischen Präparat ist zur Zeit die Veraschung von Mikrotomschnitten die Methode der Wahl; als erstrebenswert gilt, dazu Gefrierschnitte nativer Organe zu verwenden. Mehrfach hat sich jedoch gezeigt, dass selbst bei bester technischer Ausrüstung (Messertiefkühlvorrichtung nach Schultz-Brauns 1931) und trotz grosser Erfahrung in der Anwendung des Gefrierverfahrens die von gewissen Organen gewonnenen Schnitte nicht für feinere Untersuchungen ausreichen. Dies trifft leider auch für die Niere zu; native Gefrierschnitte, die nach verschiedenen Färbemethoden behandelt als Kontrollpräparate dienen sollten, lassen die einzelnen Kanälchentypen nicht mit genügender Sicherheit erkennen. Alle Kanälchenquerschnitte erscheinen an der äusseren wie an der inneren Oberfläche wenig scharf begrenzt und wie verschwommen, auch Nachfixierung der Schnitte auf dem Objektträger ändert diesen Befund nicht wesentlich. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich daher durchweg auf Nieren, die mit absolutem Aethylalkohol oder mit Formol-Alkohol im Verhältnis 1 : 4 fixiert und über Benzol in Paraffin eingebettet worden sind. Für histochemische Untersuchungen über anorganische Substanzen sind wir ausschliesslich auf diese beiden Fixationsarten angewiesen; weder Säuren noch Salze in wässriger Lösung erfüllen die unerlässliche Voraussetzung, dass keine aschegebenden Bestandteile herausgelöst oder neue anorganische Stoffe den zu untersuchenden Organen zugefügt werden dürfen.

Bei Veraschungstemperaturen von 500—520 °C besteht der Rückstand im wesentlichen aus Calcium-, Magnesium- und Siliciumverbindungen, daneben bleiben auch einige leicht in Wasser lösliche Salze erhalten. Von diesen interessiert in der Niere besonders das Kalium, dessen Ausscheidung im Harn ja beträchtlich grösser ist als etwa die des Calciums. Da sich mit Alkohol oder Formol-Alkohol fixiertes Material auch zum Nachweis des Kaliums mittels der Macallumschen Reaktion eignet, wurde zur Ergänzung der Veraschungsbefunde in allen untersuchten Nieren auch die Kaliumverteilung studiert.

Schon bei den ersten Vorversuchen zur Einarbeitung in die Technik zeigte sich, dass eine möglichst genaue Kenntnis vom Tätigkeitszustand der Nieren im Moment der Fixation die Beurteilung

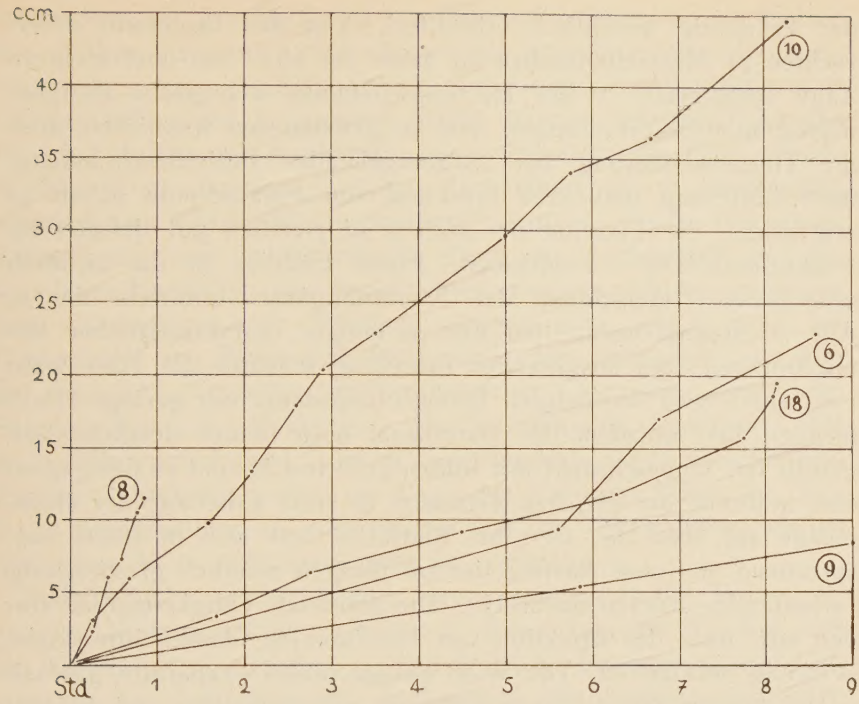


Abb. 1. Typische Harnausscheidungskurven verschieden stark tätiger Nieren von erwachsenen Meerschweinchen. Horizontal ist die Zeit in Stunden, vertikal die ausgeschiedene Harnmenge in ccm angegeben; die Einzelportionen sind durch die Punkte in den Kurven markiert.

Tier Nr. 9 blieb während der ganzen Beobachtungsdauer ungefüttert, Harnmenge in 9 Stunden 8,4 ccm.

Tier Nr. 18 war während der ersten 6 Stunden ohne Futter, nach dann folgender 1½ stündiger Fütterung stieg die Harnmenge schnell an auf insgesamt 19,4 ccm. Im Moment der Fixation ist die Niere stark tätig.

Tier Nr. 6 blieb während der ganzen Beobachtungsdauer ungefüttert. Nach der ersten spontanen Harnentleerung, die 5½ Stunden nach Versuchsbeginn erfolgte, wurden 10 Einheiten Parathormon subkutan injiziert; darauf trat ein deutlicher Anstieg der ausgeschiedenen Harnmenge auf insgesamt 22,8 ccm ein. Im Moment der Fixation ist die Niere mässig tätig.

Tier Nr. 10. Normalkurve. Bei unbeschränkter Fütterung mit Rüben wurden während der 8 stündigen Beobachtungsdauer 44,7 ccm Harn ausgeschieden.

Tier Nr. 8. 10 Einheiten Parathormon bei Versuchsbeginn subkutan injiziert verursachten eine starke Diurese von 11,5 ccm in fünf Einzelportionen innerhalb 50 Minuten. Der steile Anstieg der Kurve ist Ausdruck für stärkste Nierentätigkeit.

der Präparate wesentlich erleichtert. Von den insgesamt untersuchten 21 Meerschweinchen ist daher bei 16 — oft über mehrere Tage fortgesetzt — die Harnausscheidung wenigstens mengenmässig kontrolliert worden. Die so gewonnenen Kenntnisse über die Harnabsonderung bei vorübergehender Futterbeschränkung, nach Fütterung und nach Injektion von Parathormon haben es ermöglicht, die Fixation der Nieren in ziemlich gut definiertem Funktionszustand vorzunehmen. Einen Einblick in die ziemlich erheblichen Unterschiede der Nierentätigkeit vermitteln die in Abb. 1 zusammengestellten Kurven einiger charakteristischer Beobachtungen. Bei ausgesetzter Fütterung scheiden die Tiere während einer etwa 9-stündigen Beobachtungsdauer nur geringe Harnmengen aus, trotzdem der Darmkanal noch immer ziemlich stark gefüllt ist. Unbeschränkt mit Rüben gefüttert kommt es demgegenüber während der gleichen Zeitdauer zu einer Erhöhung der Harnmenge auf etwa das vier- bis fünffache, was sich in einem entsprechend steileren Anstieg der im übrigen ziemlich gleichmässig verlaufenden Kurven ausdrückt. Die stärksten Tätigkeitsgrade finden sich nach der Injektion von Parathormon, dessen diuretische Wirkung bekannt ist. Die Wahl gerade dieses Präparates geschah in der Absicht, körpereigene Kalksalze zu mobilisieren und dadurch möglicherweise auch eine erhöhte Ausscheidung derselben durch die Niere herbeizuführen.

Schrifttum

Die beiden im vorigen Abschnitt genannten Untersuchungsarten (Schnittveraschung und Kaliumnachweis nach Macallum) werden nicht zum ersten Mal auf die Niere angewandt. Ein kurzer Ueberblick über das ältere diesbezügliche Schrifttum deckt jedoch leicht grosse Abweichungen der darin mitgeteilten Befunde auf; man gewinnt daraus aber auch eine Reihe wichtiger Hinweise auf die besonders zu berücksichtigenden Fragen und wird ferner auf die Lücken aufmerksam, die die bisherige Forschung gelassen hat. Aus diesem Grunde folgt hier zunächst eine kurze Darstellung der Ergebnisse früherer Untersuchungen.

A. Das Aschenbild der Säugerniere.

Die Schnittveraschungsmethode ist an der Niere ausführlich zuerst von Okkels (1927) angewandt worden. Seine Fragestellung

richtet sich auf den Nachweis von Unterschieden in der Verteilung des Kalkes bei akuter und chronischer experimenteller Calciumvergiftung; von quantitativ-analytischen Untersuchungen her waren solche Differenzen in grossen Zügen bereits bekannt. Okkels fand bei Ratten und Kaninchen schon normalerweise Unterschiede in der Menge der anorganischen Rückstände, die er als Zeichen wechselnder Tätigkeitsbeanspruchung deutete. Nach subcutaner Einspritzung von Calciumchlorid steigt der Aschegehalt der gewundenen Kanälchen, die Markstrahlen erweisen sich dagegen recht arm an anorganischer Substanz, ebenso sind wenig Salze im Grenzgebiet von Rinde und Mark vorhanden. Sehr aschereich findet Okkels, besonders nach chronischer Calciumvergiftung, die Sammelröhren im Markkegel. Durch chemische Reaktionen hat er im Mineralrückstand Calcium und Phosphor nachweisen können. Feinere Einzelheiten über die Lage des Calciums fehlen in Okkels Beschreibung, sie sind bei der von ihm angewandten Schnittdicke von 15 μ wohl auch nicht zu ermitteln.

Schönholz (1929) konnte an experimentell bei Ratten erzeugten Niereninfarkten nachweisen, dass schon 20 Stunden nach der Unterbindung der Arterie eine deutliche Einlagerung von Calcium in den Epithelien der gewundenen Hauptstücke stattfindet. Er hat den Prozess in seinem weiteren Verlauf bis zum 4 Wochen alten Infarkt verfolgt und schliesslich ringartige Kalkausgüsse des Epithelsaumes gefunden.

Eine stärkere Betonung höheren Aschengehaltes im Bindegewebe der Niere findet man bei Schultz-Brauns (1931); in der menschlichen Niere ist nach seinen Befunden vor allem das Bindegewebe der Markkegel reich an anorganischer Substanz. In der Nierenrinde findet er im höheren und manchmal auch schon im mittleren Alter besonders die Blutgefässe und die Kapseln der Nierenkörperchen aschereich.

Die ausführlichste und ausschliesslich auf normales Material beschränkte Untersuchung über die Verteilung anorganischer Substanz in der Niere liegt von Scott (1933) vor. Seine Befunde an verschiedenen Säugetieren zeigen, dass die Unterschiede im Aschengehalt einzelner Nieren weniger speciesgebunden als individuell bedingt sind. Unter ausdrücklichem Verzicht auf nähere Studien über die Art und die Orte der Salzausscheidung beschreibt Scott das typische Bild der Katzenniere; die Befunde beziehen sich

auf Tiere, die einige Zeit im Laboratorium gehalten und mit Brot, Milch und Fleisch gefüttert waren.

Im Nierenkörperchen sind die Zellen der Bowmanschen Kapsel nach Veraschung recht gut erhalten, ebenso bleiben die feineren Strukturen der Glomeruluskapillaren klar erkennbar. Die Kerne der Gefässendothelien und der Epithelien der Bowmanschen Kapsel treten als weiss leuchtende Anhäufungen anorganischen Rückstandes hervor. Auffällig erscheint der Hinweis, dass der dem Harnpol nahe Teil der Bowmanschen Kapsel häufig erhöhten Salzgehalt aufweisen soll. In der Endkammer ist bei den meisten Nierenkörperchen keine Asche vorhanden.

Die gewundenen Teile des Hauptstückes sind bei einiger Uebung und mit Hilfe von benachbarten Kontrollschnitten von den gewundenen Teilen des Mittelstückes auch nach der Verbrennung noch unterscheidbar. Die Kernasche der Hauptstückzellen ist weiss glänzend und schwer wasserlöslich; im Gegensatz dazu hinterlässt der Zelleib nur einen feinen bläulich-weissen Rückstand, der sich leicht in Wasser löst. Bräunliche, also eisenhaltige Asche kommt im supranucleären Zellgebiet vor, seltener wird sie auch zwischen Kern und Zellbasis gefunden. Besonders bemerkenswert sind ferner grosse mineralfreie Vakuolen, die sich manchmal über mehrere benachbarte Zellen erstrecken sollen und nur in den basalen zwei Dritteln der Zellen gefunden werden können. Die Zellbasis selbst ist immer scharf begrenzt durch eine feine Aschenlinie, in die reichlich doppelbrechende Teilchen eingelagert sind. Lumenseitig findet sich zuweilen der Bürstensaum in Form einer Reihe von feinen, fadenartigen Ablagerungen, in anderen Fällen ist eine dicke Lage von weisser lichtbrechender Asche entlang der Zelloberfläche vorhanden. Mineralischer Rückstand im Lumen kommt in vereinzelten Teilen der gewundenen Hauptstücke in Form von fein verteilter, körniger, bläulich-weisser Asche vor, manchmal ist er auch in dünnen, quer durch die Lichtung ziehenden Strängen angeordnet.

Im Ueberleitungsstück, dem früher als dünnen Schleifenschenkel bezeichneten Teil des Nephrons, ist der Mineralgehalt ausser im Kern auf eine feine weisse Aschenlinie beschränkt, die Lumina enthalten nur ganz geringfügige Ablagerungen.

Leicht erkennbar ist auch im Aschenbild das Epithel der gestreckten Teile des Mittelstückes. Der Kernrückstand ist hier

an Menge eher gering zu nennen; gelegentlich treten die Zellgrenzen in Form feiner weisser Mineralablagerungen deutlich hervor. Der lumenseitige Zellabschluss ist besonders bei Kanälchen, deren Lichtung leer ist, durch einen Streifen weisser Asche scharf markiert; soweit Ascheablagerungen in den Kanälchen vorkommen, sind sie gleichmässig verteilt, bläulich-grau und meist etwas von der Wand abgehoben. Näher dem gewundenen Abschnitt weisen die Zellen der gestreckten Teile des Mittelstückes sowohl über wie unter dem Kern stärkere Ablagerungen von Asche auf, zwischen den Kernen findet man dagegen fast ganz mineralfreie vakuolenartige Räume ohne besondere Wand. Eisenhaltige Asche scheint in der Basalmembran vorzukommen.

Die Zellen der gewundenen Teile des Mittelstückes unterscheiden sich von denen des Hauptstückes durch ihren im ganzen geringeren Aschengehalt, durch das Fehlen von Eisen im supranucleären Bereich und durch die schärfere Begrenzung gegen das Lumen hin. Die Kerne sind eher etwas ärmer an Salzen als die in den Zellen der Hauptstücke, sie heben sich deshalb weniger scharf vom Zelleib ab. Beträchtliche Mengen doppelbrechender Substanz lassen die Tunica propria besonders hervortreten.

Vom Mineralgehalt der Sammelrohre und ihrer Wandungen gibt Scott keine Beschreibung.

Anhangsweise füge ich hier noch die von Schulze und Zschau (1935) mit anderer Technik gewonnenen Ergebnisse über die Calciumverteilung in der Hundeniere bei. Es wird in dieser Untersuchung vor allem auf grosse Unterschiede hingewiesen, die der Calciumgehalt in den Epithelien der einzelnen Kanälchenabschnitte aufweist; eine befriedigende Deutung ist für diese Beobachtung noch nicht gefunden. Stark positiv ist die Calciumreaktion überall in der Tunica propria der Harnkanälchen. Calcium wird ferner als Grenzschicht gefunden zwischen den Epithelien der gewundenen und der geraden Harnkanälchen und an der lumenseitigen Oberfläche dieser Zellen. Im Innern der Epithelien kommt es um den Kern herum vor. Calciumpositiv sind endlich auch die Grenzlinien zwischen den einzelnen flachen Epithelien der Bowmanschen Kapsel und das Cytoplasma dieser Zellen. Reichlich soll Calcium noch in den Zellen am Harnpol des Nierenkörperchens und in den Hauptstückepithelien vorkommen, während die Auskleidung der weiter distal folgenden Abschnitte des Ne-

phrons nur geringeren Calciumgehalt aufweist. Die Zellkerne erscheinen überall wie ausgespart und werden als calciumfrei angesehen.

B. Die Kaliumverteilung in der Säugerniere.

Ueber die Kaliumverteilung in der Niere von Säugetieren liegen einige Beobachtungen von Macallum und seinen Schülern vor. Macallum selbst hat 1905 betont, dass die Kerne der Nierenepithelien bei Kaninchen, Meerschweinchen und Hund ganz frei von Kalium gefunden werden. Dieser Befund ist bestätigt worden durch ausführliche Untersuchungen von Brown (1912), der an 10—12 μ dicken nativen Gefrierschnitten der Nieren von Hund, Kaninchen und Katze die Kaliumreaktion nach Macallum ausführte; seine Befunde an Fröschen und Tauben lasse ich hier unberücksichtigt. Brown findet, dass die Glomeruli aller untersuchter Arten ein charakteristisches Bild bieten in der Form von feinen Linien schwarzer Kristalle. Diese entsprechen nach einem Vergleich mit Kontrollpräparaten den Wänden der Blutgefässe. Weniger deutlich sind die Ablagerungen in den Epithelien und im Bindegewebe; die Basalmembran, die sich bei einigen Präparaten der Hundeniere abgehoben hatte, konnte jedoch sicher als kaliumhaltig erkannt werden. In der Endkammer des Nierenkörperchens ist Brown der Nachweis von Kaliumsalzen nicht gelungen.

In den Hauptstückzellen finden sich bei Hunden, deren Diurese durch zwei Stunden lange Narkose mit Alkohol-Chloroform-Aether gesteigert war, reichliche Kaliummengen einmal an der Zellbasis, zum anderen nahe dem Lumen. Die basale Ablagerung soll möglicherweise ausserhalb der Zelle gelegen sein, die apikale wird als innerhalb der Zelle befindlich gedeutet. Ferner wird hervorgehoben, dass die basale Ablagerung häufiger ist als die apikale, diese war dagegen öfter festzustellen, wenn der Harnstrom künstlich zurückgehalten wurde. In der Zusammenfassung der Arbeit wird klar ausgesprochen, dass im Ruhezustand oder während der gewöhnlichen Tätigkeit das einzige im Cytoplasma der Tubuli contorti nachweisbare Kalium unmittelbar nahe dem Lumen in der Zelle liegt. Bei Anregung der Nierentätigkeit durch Phloridzin wurde im ganzen dieselbe Kaliumverteilung gefunden, wobei die

Gleichförmigkeit der Lokalisation um die Tubuli direkt entsprechend dem Tätigkeitsgrade der Niere zunimmt.

Ausser in den Hauptstückzellen fand Brown Kalium in den Henleschen Schleifen (eine exaktere Bezeichnung dieses Teiles fehlt leider), nie dagegen sah er Ablagerung von Kalium im Gebiet der Sammelröhren. Eine genauere Lokalisation des Kaliums in den einzelnen Kanälchenabschnitten ist Brown nicht gelungen.

Die Befunde an der Kaninchenniere sind im ganzen ähnlich. Betont wird besonders, dass die Ablagerung des Kaliums in einer stark tätigen Niere deutlicher und gleichmässiger ist als in einer weniger tätigen Niere; im inneren Teil der Grenzzone weisen bei der weniger tätigen Niere nur etwa halb so viel Kanälchen lumenseitig Kaliumanreicherung auf wie bei der tätigen Niere. Bei dieser zeigten ausserdem viele Kanälchen das Kalium im Lumen selbst.

Präparate von den Nieren erwachsener Katzen bieten keine von den oben beschriebenen abweichenden Befunde; dagegen wird von der Niere einer fötalen Katze besonders erwähnt, dass nur einige vereinzelte gewundene Kanälchen eine gewisse basale Ablagerung von Kalium erkennen lassen, apikal fand sich kein Kalium.

Aus dem Fehlen von Kalium im Kapselraum des Nierenkörperchens und dem Vorkommen von Kalium im Lumen der Kanälchen wird auf eine Exkretion der Salze durch die Tubuli geschlossen; diese Beweisführung muss als wenig überzeugend zurückgewiesen werden, da in Anbetracht der freien Uebertragung der Gefrierschnitte in das Reagens dem Fehlen von Kalium in der Endkammer keine Bedeutung beigemessen werden kann; das möglicherweise darin vorhanden gewesene Kalium geht bei dieser Behandlungsweise natürlich verloren.

Menten (1922) bestätigt im ganzen die Befunde von Brown. Er untersuchte als Ausgangsmaterial für seine experimental-pathologische Fragestellung 5—10 μ dicke native Gefrierschnitte normaler Nieren von Kaninchen, Meerschweinchen und Ratten und konnte — wahrscheinlich wegen der geringeren Schnittdicke — die Beobachtungen an den Hauptstückzellen noch etwas verfeinern. Kalium ist überall in der Niere vorhanden, am reichlichsten aber in der Rinde und innerhalb dieser wieder in den Zellen der gewundenen Teile der Hauptstücke. Meistens findet sich dort die

von Brown beschriebene basale und apikale Anordnung des Kaliums, ausserdem kommen nicht selten aber auch Kanälchen vor, in denen das Kalium gleichmässig über das ganze Cytoplasma verteilt ist. Kerne im normalen Zustand sind immer kaliumfrei. Die Reaktionsprodukte beim Kaliumnachweis mit Kobaltnatriumhexanitrit haben zweierlei Aussehen. In der Form von Pentagon-Dodekaedern liegen die für den positiven Reaktionsausfall charakteristischen Kristalle vor allem in den basalen und in den apikalen Ablagerungen der Hauptstückzellen, sowie den Lumina dieser Abschnitte des Nephrons; daneben kommen besonders im Gebiete der basalen Granulierung der Hauptstückzellen — aber nicht ausschliesslich an diese gebunden — feinkörnige Niederschläge vor, die in dünner Schicht kugelige Massen umhüllen. Die Bedeutung dieser Reaktionsunterschiede bleibt offen.

Verhältnismässig wenig Kalium findet sich im Glomerulus, es steht dort vor allem in Beziehung zu den Blutgefässen und besonders zu den roten Blutkörperchen innerhalb der Kapillaren.

Bestätigt wird ferner die Beobachtung von Brown, dass während der durch Purinderivate, durch Salze oder durch Wasser ausgelösten Diurese erhöhter Kaliumgehalt in der Niere vorliegt, an dem vor allem wieder die Zellen der gewundenen Abschnitte der Hauptstücke Anteil haben. Dagegen wird der von Brown gesehene starke Kaliumgehalt in den Henleschen Schleifen nicht besonders erwähnt. Die Kaliumarmut der Sammelröhren wird auch von Menten betont. Seine experimental-pathologischen Befunde werden hier nicht besonders angeführt, da uns ausschliesslich das normale Vorkommen des Kaliums in der Niere beschäftigen soll.

Wenig klar und zum Teil direkt unverständlich ist die Beschreibung, die Uwatoko (1927) vom Ausfall der Kaliumreaktion in der Niere neugeborener und ausgewachsener Kaninchen gibt. Seine Untersuchungen sind an Paraffinschnitten nach Fixation der Nieren in absolutem Alkohol ausgeführt. In einigen Punkten stimmen die Befunde von Uwatoko mit denen der Macallumschen Schule überein. So findet z. B. auch er die Erythrocyten in den Glomeruli kaliumpositiv; andererseits hält er die Nucleolen in den Kernen der Epithelien des Nephrons für kaliumpositiv und stellt sich damit in Gegensatz zu den Befunden von Macallum, Brown und Menten.

In den Epithelien der Bowmanschen Kapseln der Nieren von

3—5 Tage alten Kaninchen soll Kalium fehlen, ebenso in den Epithelien der Hauptstücke, doch ist gerade hier die Beschreibung der Befunde sehr unklar. Von den Epithelzellen des absteigenden Schenkels der Schleife enthalten nur einige geringe Mengen von Kalium, während das Cytoplasma der Zellen des aufsteigenden Schenkels durch feine ungleich grosse kaliumpositive Granula gekennzeichnet ist. Die Epithelien der Schaltstücke sind offenbar durch Schrumpfung verändert gefunden worden, sie sollen kaliumfrei sein. Den höchsten Kaliumgehalt beschreibt Uwatoko in den Sammelrohrepithelien. Die für die positive Reaktion auf Kalium beweisenden schwarzbraunen Kristalle sind im Cytoplasma dieser Zellen entweder diffus verteilt oder an anderen Stellen nahe der Zellbasis und dem Lumen angehäuft.

Für die Nieren ausgewachsener Kaninchen wird angegeben, dass die Kaliumreaktion in den aufsteigenden Schenkeln der Schleife und in den Sammelrohren nicht so ausgesprochen ist wie kurz nach der Geburt. Eine Deutung dieses Befundes ist Uwatoko ebenso wenig möglich wie eine Stellungnahme zu der Frage, ob der erhöhte Kaliumgehalt in bestimmten Abschnitten des Nephrons im Sinne der Sekretions- oder der Rückresorptionstheorie zu verstehen ist.

Neuere Befunde von Schulze und Zschau (1935) stehen wieder in vieler Beziehung den Beobachtungen von Brown und Menten näher; die an der Hundeniere ausgeführten Untersuchungen sind an Gefrierschnitten nach Formolfixation und Gelatineeinbettung vorgenommen. Grosse Unterschiede in der Kaliumverteilung innerhalb der Epithelien der einzelnen Kanälchenabschnitte können vorerst nicht restlos befriedigend gedeutet werden. Stark positiv sollen die in den Blutgefässen vorhandenen Erythrocyten reagiert haben, ferner die Epithelien der Bowmanschen Kapsel und die der gewundenen Teile der Hauptstücke. Sehr schwache Reaktion zeigen die Zelleiber der Henleschen Schleifen, der gewundenen Teile des Mittelstückes und der Sammelrohre. Schulze und Zschau neigen zu der Annahme, dass diese Befunde als Zeichen einer Rückresorption von Elektrolyten in den Hauptstücken aufgefasst werden können. Abweichend ist in ihrer Arbeit gegenüber den älteren Angaben vor allem die Feststellung, dass die Kerne „wie üblich" stärker kaliumpositiv sein sollen als das Cytoplasma der Nierenepithelien.

Die gleiche Behauptung vom Kaliumreichtum des Kernes findet sich auch in einer ganz kürzlich erschienenen Untersuchung von Preminger (1940), die im übrigen für die normale Topochemie des Kaliums in der Niere von Kaninchen nichts Neues bringt und Vergleiche mit dem älteren Schrifttum ganz vernachlässigt.

Befunde

A. Das Aschenbild der Meerschweinchenniere.

Untersucht man Totalschnitte der Niere im gewöhnlichen Tätigkeitszustand bei schwachen Vergrösserungen im Dunkelfeld, so findet man Unterschiede im Aschengehalt zwischen Mark und Rinde nur sehr wenig ausgesprochen; in dünnen Schnitten bleiben sie unerkennbar, erst bei 10 μ und mehr tritt das Nierenkonvolut als etwas reicher an anorganischer Substanz hervor, auch die Markstrahlen bleiben im ganzen etwas dunkler und gleichen daher mehr dem Aussehen des Markes.

Bei stärkerer Vergrösserung erweist sich, dass innerhalb der Niere regelmässig die Zweige der A. renalis den höchsten Aschengehalt haben. Selbst die Aa. interlobulares und die von ihnen an die Glomeruli hinführenden Aa. afferentes sind am starken Mineralrückstand mit aller Sicherheit wieder zu erkennen, wodurch oft der Vergleich bestimmter Stellen im Aschenpräparat mit den entsprechenden Gebieten der zur Kontrolle gefärbten Nachbarschnitte überhaupt erst möglich wird.

In den Nierenkörperchen (Abb. 2) bleiben die Kapillarschlingen auch nach der Veraschung so gut erhalten, dass z. B. die Läppchengliederung des Glomerulus wenigstens in dünnen Schnitten beinahe immer wieder zu finden ist. Die Kapillarwände erscheinen meist als dünne Aschelinien, die aus Reihen feinster Körner zusammengesetzt sind. Weit seltener und nur auf kurze Strecken ist die von der Kapillarwand zurückgebliebene anorganische Substanz in Form feinster, schleierartiger Flächen erkennbar, die aber keinerlei Verdichtungen oder dergleichen als Zeichen des Feinbaues aufweisen. Massige, weiss glänzende Ascheanhäufungen von runder oder ovaler Form, die reichlich im Gebiete des Glomerulus vorkommen, stammen von den Kernen des Endothels, des Bindegewebes und der Deckzellen. Da der Mineralrückstand der Kerne im ganzen reichlich und deshalb sehr dicht gelagert ist, lassen

sich feinere Kernstrukturen nicht ermitteln, die etwa zu einer Unterscheidung der verschiedenen, im Glomerulus vorhandenen Kernarten herangezogen werden könnten. Nahe dem Gefässpol ist in vielen Glomeruli der Aschengehalt deutlich etwas erhöht.

Die Endkammer des Nephrons, d. h. der durch die Bowmansche Kapsel abgegrenzte Raum um die Glomerulusschlingen herum enthält nur selten einige kleine Ascheteilchen. Da die 3—5 μ dünnen Schnitte vor der Veraschung auf einem Tropfen Paraffinum liquidum in der Wärme gestreckt werden und dabei das Einbettungsparaffin auch schmilzt, ist die Möglichkeit einer Verlagerung feinster frei in Hohlräumen vorhandener Teilchen anorganischer Substanz gegeben. Versuche, die trockenen Paraffinschnitte ohne Streckung zu veraschen führten meist zu starker Schrumpfung der Gewebsbestandteile, da diese dann keine festere Verbindung mit dem Tragglas aufgenommen haben; auch bei solcher Behandlung war über das Vorkommen und die Menge der anorganischen Substanz in der Endkammer keine sichere Feststellung möglich.

Als periphere Begrenzung der Endkammer ist die Bowmansche Kapsel in Form einer scharf abgesetzten weissen Aschelinie deutlich; ihre Kerne wölben sich als Anhäufungen anorganischer Substanz wie im gewöhnlichen mikroskopischen Präparat oft etwas ins Lumen hinein vor. Regelmässige Unterschiede im Salzgehalt der Epithelien der Bowmanschen Kapsel lassen sich nicht feststellen, auch den von Scott erwähnten starken Aschengehalt am Hals des Hauptstückes habe ich nicht gesehen.

Besonders eingehend untersucht wurde der nächstfolgende Abschnitt des Nephrons, das Hauptstück in seinem gewundenen und seinem gerade verlaufenden Teil. Aus einem Ueberblick über das Schrifttum ergab sich, dass gerade diese Strecken möglicherweise als Orte des Salzstoffwechsels in der Niere von Bedeutung sind. Während bei den Nierenkörperchen funktionell bedingte Unterschiede mangels geeigneter Kriterien nicht berücksichtigt werden konnten, ist dies in den gewundenen und den geraden Teilen des Hauptstückes unumgänglich.

Aus vielen früheren Untersuchungen hat sich als einzig sicheres Zeichen der Beanspruchung die Lumenweite und damit korrespondierend die Höhe der Epithelauskleidung des betreffenden

Kanälchens ergeben. Einige zur Orientierung ausgeführte Messungen haben diese Feststellungen auch am vorliegenden Untersuchungsmaterial bestätigt. In einer Niere mit stark herabgesetzter Harnausscheidung (Nr. 9 der Abb. 1) finden sich unter den gewundenen Teilen des Hauptstückes noch zahlreiche Querschnitte, die überhaupt kein Lumen oder höchstens nur Spuren eines solchen erkennen lassen; der äussere Durchmesser derartiger Kanälchen schwankt zwischen 36 und 42 μ, als Mittelwert wurden 38,6 μ berechnet. Die Epithelhöhe beträgt etwa 15,6—18 μ. Längsschnitte durch Kanälchen der gleichen Art, die in ihrem etwas deutlicheren Lumen fädig geronnenen Inhalt zeigten, haben durchschnittlich 49,6 μ (38—61 μ) äusseren Durchmesser, die Lumenweite wurde auf durchschnittlich 17 μ (7—25 μ) bestimmt, die mittlere Zellhöhe ist 16,3 μ (11,4—22,8 μ). Demgegenüber sind bei einem Tier mit durch Parathormon hervorgerufener starker Diurese (Nr. 8 der Abb. 1) unter den gewundenen Teilen des Hauptstückes ganz enge Kanälchenquerschnitte überhaupt nicht mehr zu finden. Längsschnitte mit weitem Lumen und fädig geronnenem Inhalt haben einen äusseren Durchmesser von 45,2 μ (40,3—51,7 μ), dabei beträgt die durchschnittliche Lumenweite 20,4 μ (16—26,6 μ) und die Zellhöhe 12,4 μ (11,4—13,7 μ).

Am besten vergleichbar werden diese Zahlen, wenn man sie in Prozenten des äusseren Durchmessers ausdrückt; in der schwach tätigen Niere schwankt die Lumenweite zwischen 18 und 52 % des ganzen Durchmessers, der Mittelwert ist 34,3 %; bei der stark tätigen Niere liegt die Lumenweite zwischen 38 und 51 % des ganzen Durchmessers mit einem Mittelwert von 45,1 %. Die Lumenweite gestattet also bis zu einem gewissen Grad Rückschlüsse auf das Mass der Durchströmung des Nierenkanälchens.

Bei gleicher Vergrösserung aufgenommene Mikrophotographien von Aschenbildern derselben Nieren, von denen die eben angeführten Zahlen stammen, sind in den Abb. 3 und 4 wiedergegeben. Die dort gezeigten Schnitte durch gewundene Teile des Hauptstückes lassen die angegebenen Grössenunterschiede in der Lumenweite und der Zellhöhe klar erkennen. Hervorzuheben ist, dass die teils quer, teils längs getroffenen Kanälchen sich alle dicht berühren, nur ganz vereinzelt kommen kleine längliche oder ovale Spalträume dazwischen vor, die wohl als den Blutkapillaren entsprechend gedeutet werden müssen; durch die Fixation bedingte Schrumpfungs-

erscheinungen spielen also für die Beurteilung der Präparate keine besondere Rolle.

Im einzelnen bieten die Aschenbilder der gewundenen Abschnitte des Hauptstückes das von der gewöhnlichen mikroskopischen Untersuchung her bekannte Bild: basal sind sie scharf durch eine Membrana propria begrenzt, die häufig in Form einer feinen, viel doppelbrechende Substanz enthaltenden Aschenlinie besonders hervortritt. Bei der wenig tätigen Niere (Abb. 3) sind die Lumina meist sternförmig und nicht immer scharf begrenzt, da zuweilen etwas Mineralrückstand in der Lichtung vorhanden ist. Auch die seitlichen Berührungsflächen der einzelnen Zellen heben sich im Aschenpräparat nicht deutlich ab. Im übrigen ist die anorganische Substanz im Cytoplasma ziemlich gleichmässig verteilt; hin und wieder kommen etwas unscharf abgesetzte Gebiete vor, die aschefrei sind, sie erreichen jedoch nur ausnahmsweise die Grösse eines Zellkernes. Ganz salzfreie Vakuolen nahe der Zellbasis in so grosser Ausdehnung, wie sie Scott beschrieben hat, habe ich nicht gefunden. Da die Kernmembran immer klar erkennbar bleibt, heben sich die Kerne als runde, zum Teil etwas strukturierte Aschenablagerungen deutlich vom Zelleib ab; vereinzelt ist das die Kerne umgebende Cytoplasma etwas ärmer an anorganischer Substanz als der übrige Zelleib.

Ein ganz ähnliches Aussehen wie die Abb. 3 bieten Schnitte durch die gewundenen Teile von Hauptstücken aus der Niere eines jugendlichen einen Monat alten Tieres, nur sind die Kanälchen durchschnittlich noch etwas kleiner. Offenbar handelt es sich auch bei dieser um eine wenig tätige Niere, da in den engen Lumina nur vereinzelte Aschekörnchen in feinen fädigen Brücken vorkommen, die die Lichtung quer durchspannen und in den Kontrollpräparaten als Gerinnsel erscheinen.

Während starker Diurese (Abb. 4) grenzen sich im Gegensatz zu den oben beschriebenen Befunden die Hauptstückzellen scharf gegen das weite Lumen ab. Ihre etwas in die Lichtung vorgebuchteten apikalen Teile lassen oft einen schmalen Saum höheren Aschengehaltes erkennen. Ueberhaupt erscheint die gesamte Menge anorganischer Substanz in den Hauptstücken reichlicher, wohl als Folge der zweimaligen Injektion von Parathormon. Eine besondere Lokalisierung dieser höheren Aschemengen, aus der auf sekretorische oder resorptive Vorgänge geschlossen werden könnte,

liegt aber nicht vor. Im Lumen selbst findet man feine granulär zusammengesetzte Stränge aschegebender Substanz gelegen.

Ist an den in Abb. 4 wiedergegebenen Stellen die apikale Aschenanreicherung nur geringfügig, so haben andere Präparate von normal gefütterten Tieren in den Hauptstücken lumenseitig einen viel reichlicheren Rückstand von anorganischer Substanz aufgewiesen, von dem oft schwer zu entscheiden ist, ob er noch intra- oder schon extrazellulär liegt (Abb. 5). In derartigen Fällen erweist sich gewöhnlich die basale Seite der Hauptstückzellen als recht aschearm. Die im apikalen Zellteil gelegene Häufung anorganischer Substanz ist meist grob granulär und oft in nahe benachbarten Kanälchen recht verschieden. Ein schönes Beispiel dafür bietet Abb. 6, wo in zwei etwa gleich grossen Querschnitten durch gewundene Teile von Hauptstücken die sicher intrazelluläre Lage der lumennahen Anhäufung anorganischer Substanz erkennbar ist. Das rechte Kanälchen hat ein etwas weiteres Lumen und verhältnismässig wenig aschegebende Granula im Zelleib, beim linken Kanälchenquerschnitt ist die Lichtung enger und der Gehalt der Zellen an anorganischen Granula recht beträchtlich. Zweifellos handelt es sich bei solchen Bildern um funktionsbedingte Unterschiede, deren Deutung jedoch nicht ganz leicht ist. Sowohl die einer Sekretion vorausgehende Häufung wie die durch starke Rückresorption bedingte starke Vermehrung aschegebender Substanzen können in den Zellen vorübergehend zu gleichen Bildern führen. Wenn wirklich die oben angeführten Unterschiede in der Lumenweite Zeichen der mehr oder minder grossen Tätigkeit des Hauptstückes sind, so müsste in der Abb. 6 das Kanälchen mit mehr anorganischer Substanz in den Zellen und engerem Lumen weniger tätig gewesen sein als das mit weiterem Lumen und geringerer Menge aschegebender Stoffe in den Zellen. Erkennt man die Richtigkeit dieser Deutung an, so würden die Befunde über die Verteilung der anorganischen Stoffe eher für eine sekretorische Tätigkeit der Zellen in den gewundenen Teilen des Hauptstückes sprechen.

Nur in diesem Sinne ist wohl auch der Befund zu deuten, wie ihn der in Abb. 6 unten zwischen den beiden vorher beschriebenen Kanälchen gelegene Querschnitt bietet; dort findet sich das sternförmige Lumen eines Hauptstückes dicht mit grob granulärer glänzender und stark lichtbrechender Asche gefüllt. Derartige Be-

obachtungen sind an normal tätigen Nieren nicht ganz selten zu erheben. Am schönsten habe ich sie in der Niere des Tieres 10 gefunden, dessen Ausscheidungskurve in Abb. 1 eingetragen ist. Andere Tiere, deren Harnausscheidung bei normaler Fütterung denselben Verlauf aufwies (Nr. 12, 15, 16) zeigen gleichfalls mehr oder minder häufig die engen Lichtungen völlig mit anorganischer Substanz gefüllt; es handelt sich bei diesen Beobachtungen zweifellos nicht um Einzelfälle. Wollte man solche Befunde als durch Wasserrückresorption entstanden ansehen, so müssten die nachfolgenden Abschnitte desselben Nephrons die gleiche dichte Füllung mit anorganischem Inhalt aufweisen; mit Ausnahme der geraden Teile des Hauptstückes ist das aber nicht der Fall, wie noch zu beschreiben sein wird.

Kurz hingewiesen sei schliesslich auf die Tatsache, dass weder die aus Körnchenreihen bestehende basale Streifung noch der Bürstensaum im Aschenbild sicher wieder erkannt werden können, wofür die Abb. 7 als Beleg beigegeben ist. Ich befinde mich in dieser Hinsicht im Gegensatz zu Befunden von Scott, der den Bürstenbesatz in Form feiner fädiger Bildungen gesehen zu haben angibt. Der Vergleich von Aschenpräparaten mit benachbarten Kontrollschnitten, vor allem solchen mit sekretfreiem Lumen, hat bei positivem Bürstensaumbefund am gefärbten Präparat niemals nach der Verbrennung äquivalente Bilder in denselben Kanälchenquerschnitten ergeben. Durchbrüche des Bürstensaumes und ähnliche als Sekretionserscheinungen gedeutete Bilder lassen sich demzufolge im Aschenpräparat auch nicht mit Sicherheit wiedererkennen.

Für die geraden Teile der Hauptstücke gilt im ganzen die gleiche Beschreibung wie für die gewundenen Abschnitte nur mit dem Unterschied, dass die erwähnten Einzelheiten hier oft noch stärker hervortreten. Was zunächst Durchmesser, Zellhöhe und Lumenweite der Pars recta anbelangt, so ergaben die Messungen folgende Werte: bei Tier Nr. 9 als Beispiel für eine schwach tätige Niere ist die mittlere Kanälchendicke 47,9 μ (41,8—53,2 μ), die durchschnittliche Zellhöhe beträgt 19,1 μ (15,2—22,8 μ), als durchschnittliche Lumenweite wurde 9,7 μ (3,8—15,2 μ) gemessen. Die entsprechenden Werte bei der stark tätigen Niere des Tieres Nr. 8 sind: durchschnittliche Kanälchendicke 45,8 μ (38—53,2 μ), durchschnittliche Zellhöhe 12,5 μ (11,4—16 μ), durchschnittliche

Lumenweite 20,7 μ (15,2—26,6 μ). In der wenig tätigen Niere macht also das Lumen durchschnittlich etwa 20 % des Durchmessers aus, bei der stark tätigen dagegen 45 %. Es bestätigt sich auch hier, dass vermehrte Tätigkeit mit Zunahme der Lumenweite und Abnahme der Zellhöhe einhergeht. Dabei ist es vielleicht doch wichtig hervorzuheben, dass starke oder geringe Tätigkeit in diesem Zusammenhang an der Menge des abgeschiedenen Harnes gewertet wurde und nicht an der Harnqualität. Die verschiedenen Teilfunktionen der Nierenleistung können mit einer so allgemeinen Bezeichnung des Tätigkeitsgrades nicht ausreichend erfasst werden. Die Lumenweite ist eigentlich nur ein Mass für die im Moment der Fixation erfolgende Flüssigkeitsdurchspülung des einzelnen Nephrons.

Die geraden Teile des Hauptstückes findet man sowohl bei den einzelnen Tieren wie auch innerhalb der gleichen Niere in recht unterschiedlichem Funktionszustand. Es ist hier angebracht, darauf hinzuweisen, dass die durch Parathormon zur erhöhten Harnausscheidung angeregten Tiere die in diesen Versuch gesetzten Erwartungen nicht voll erfüllt haben. Die Annahme, dass es bei etwas erhöhtem Blutcalcium gelingen würde, die Orte der vermutungsweise höheren Kalkausscheidung in der Niere leichter zu erkennen, hat sich nicht bestätigt. Wahrscheinlich wird als Folge der bedeutend gesteigerten Flüssigkeitsausscheidung das Calcium sehr stark verdünnt und so schnell ausgeschwemmt, dass es in den Lumina topochemisch kaum noch darstellbar ist. In dieser Beziehung haben sich die Präparate von normal tätigen Nieren als überlegen erwiesen, findet man doch in ihnen verschiedene Stadien, die auf Grund ihrer Lumenweite leicht in eine Funktionsreihe geordnet werden können.

Einige solcher Beispiele von Aschenbildern des geraden Hauptstückteiles sind in den Abb. 8—10 zusammengestellt. Abb. 8 zeigt ein Kanälchen, bei dem der Raum des zackig gestalteten Lumens ganz mit anorganischer Substanz gefüllt ist, die begrenzenden Epithelien haben fast völlig salzfreies Cytoplasma. In solchen Ascheanhäufungen im Lumen treten dann besonders stark lichtbrechende, grob granulierte Teilchen auf, die sich im polarisierten Licht als doppelbrechend erweisen. Durch Behandlung mit destilliertem Wasser werden diese Rückstände anorganischer Substanz nicht wesentlich vermindert, es müssen also vorwiegend schwer

lösliche Salze - - vor allem wohl Calciumverbindungen - - gewesen sein.

Ein weiteres Aschenbild vom geraden Teil des Hauptstückes (Abb. 9) soll zeigen, dass in anderen Fällen das Lumen nicht ganz so dicht mit anorganischer Substanz angefüllt ist. Die Abb. 10 endlich dient als Beleg für das Vorkommen einer noch kleineren Aschenmenge in dem nun auch weiter gewordenen Lumen.

Für diese Reihe von Bildern, die nebeneinander in jedem Markstrahl einer normal tätigen Niere gefunden werden können, ist als Versuch einer Deutung wohl nur die gleiche Auffassung möglich, die schon für die gewundenen Teile des Hauptstückes genannt wurde: im gewundenen und im geraden Teil des Hauptstückes erfolgt eine Abscheidung von Salzen, die zu deren Anreicherung im Lumen führt. Diese Anhäufung anorganischer Substanzen in der Lichtung findet vor allem bei fehlendem oder stark herabgesetztem Flüssigkeitsstrom im Nephron statt, so dass auch ganz enge Hauptstücke davon betroffen sein können. Ich sehe in diesem Befund einen Beweis für die Annahme, dass die einzelnen Abschnitte des Nephrons nicht gleichzeitig tätig zu sein brauchen. Die Absonderung der Salze erfolgt auch in Hauptstücken mit ganz engem Lumen, also bei fehlender oder herabgesetzter Durchströmung; eine Erweiterung der Lichtung tritt erst ein, wenn vom Glomerulus her ein Flüssigkeitsstrom einsetzt, der die zuvor ausgeschiedenen Salze aus dem Nephron ausschwemmt. Die Voraussetzung für die Richtigkeit solcher Vorstellungen ist, dass die weiter distal gelegenen Abschnitte des Nephrons in ihrem Lumen keine ebenso dichte Ablagerung von Asche aufweisen. Die folgenden Beschreibungen der Befunde im Ueberleitungs- und im Mittelstück werden das beweisen.

Für das Ueberleitungsstück (Abb. 11 und 12) stimmen meine Beobachtungen über die Anordnung und die Menge der anorganischen Substanzen völlig mit den Befunden von Scott überein. Der anorganische Rückstand stammt dort grösstenteils von den Kernen, ausserdem findet man eine feine Aschenlinie, die von der ganz dünnen Epithelwand und von der Membrana propria herrührt. Die Lumina enthalten nur ganz geringfügige Ablagerungen. Irgendwelche Unterschiede, die als Folge verschiedener Durchströmung angesehen werden könnten, habe ich in diesen Kanälchenabschnitten nicht beobachtet.

Unter dem Namen Mittelstück fasst v. Möllendorff (1930) die Teile des Nephrons zusammen, die früher als dicker aufsteigender Schenkel der Schleife und als Tubulus contortus II. Ordnung bezeichnet worden sind. Die feineren Untergliederungen dieses Abschnittes haben im Aschenbild bisher keine wesentlichen Abweichungen von einander erkennen lassen, obwohl sie zum grössten Teil durch ihre Topographie recht genau bestimmt werden können. Zunächst ist wieder hervorzuheben, dass die Kontrollpräparate von verschieden stark tätigen Nieren ähnliche, wenn auch nicht so hochgradige Unterschiede in der Lumenweite und der Epithelhöhe aufweisen wie die Hauptstücke. Ausserdem findet man aber noch in den Zellen des Mittelstückes eine Besonderheit in Form von „Kuppen", die sich bläschenartig in das Lumen hinein vorwölben und die im mit Eisenhämatoxylin gefärbten Kontrollpräparat hell erscheinen. Solche Kuppen hat u. a. schon K. W. Zimmermann (1911) beschrieben und als Sekretionserscheinungen gedeutet, v. Möllendorff will in ihnen nur Artefakte sehen. An meinem Material lässt sich nun aber mit aller Sicherheit feststellen, dass die Häufigkeit solcher kuppentragender Zellen abhängig ist vom Grade der Flüssigkeitsausscheidung der betreffenden Niere. In ihrem Markstrahlabschnitt zeigen z. B. die geraden Teile des Mittelstückes bei der schwach tätigen Niere des Tieres Nr. 9 (Ausscheidungskurve s. Abb. 1) nur ziemlich selten niedrige Kuppen, bei der stark tätigen Niere des Tieres Nr. 8 (s. Abb. 1) sind dagegen die Kuppen viel höher, sie kommen auch in mindestens doppelt so viel Kanälchen vor wie bei der wenig tätigen Niere. Die Besonderheit dieses Befundes veranlasst mich, ein Bild von solchen Kuppenbläschen beizugeben (Abb. 13), die im Mittelstück übrigens sowohl im geraden wie im gewundenen Teil vorkommen können.

Vergleichende Bestimmungen der Kanälchendurchmesser, der Zellhöhe und der Lumenweite wurden vor allem im Markstrahlabschnitt des Mittelstückes ausgeführt. Sie ergeben bei Kanälchen ohne Zellkuppen in einer wenig tätigen Niere einen mittleren Kanälchendurchmesser von 21,8 μ (15,2—30,4 μ), die durchschnittliche Epithelhöhe beträgt 7,5 μ (4,9 –9,9 μ), die aus diesen Zahlen zu berechnende durchschnittliche Lumenweite ist 6,8 μ. Dieselben Kanälchen haben in einer Niere mit starker Harnausscheidung mit 22μ (17,5—26,6 μ) den gleichen äusseren Durch-

messer, die durchschnittliche Epithelhöhe ist mit 6,3 μ (4,6 bis 8,4 μ) etwas niedriger, dementsprechend ist die mittlere Lumenweite auf 9,3 μ zu berechnen und somit etwas grösser als bei der wenig tätigen Niere; in Prozenten des ganzen Durchmessers ausgedrückt ist die mittlere Lumenweite bei der weniger tätigen Niere 31 %, bei der stark tätigen dagegen 42 %.

Bei Kanälchen mit Zellkuppen aus den im Markstrahl gelegenen Teilen des Mittelstückes sind die gleichen Unterschiede vorhanden. In der wenig tätigen Niere des Tieres Nr. 9 finde ich einen mittleren Kanälchendurchmesser von 33,4 μ (28,5 –38 μ), die Wanddicke einschliesslich der Kuppen misst durchschnittlich 14,4 μ (12,2—17,1 μ), das Lumen hat demnach 4,6 μ mittlerer Weite. Bei der stark tätigen Niere des Tieres Nr. 8 ist der mittlere Kanälchendurchmesser 28,3 μ (21,3 –34,2 μ), die Epithelien messen durchschnittlich 10,9 μ (8,4—13,7 μ), wovon 3,8 μ auf die Kuppen kommen, die mittlere Lumenweite beträgt 6,6 μ. In Prozenten des gesamten Durchmessers ist die Lumenweite bei der Niere mit schwacher Harnabscheidung auf 13,8 %, bei der Niere mit starker Harnausscheidung auf 23,3 % zu berechnen. Eine ganz ähnliche relative Weite hat auch das Mittelstück in seinen gewundenen Teilen bei Kanälchen, die Kuppen aufweisen. Ich finde dort einen mittleren Kanälchendurchmesser von 42,2 μ (34,2—50,9 μ). Die Epithelhöhe misst durchschnittlich 16,3 μ (13,7—19 μ), wovon 6,7 μ auf die Kuppen entfallen, für das Lumen bleiben 9,6 μ ; diese Werte ergeben eine relative Lumenweite von 22,7 %. Beizufügen bleibt hier noch, dass in den gewundenen Abschnitten des Mittelstückes die Kuppen besonders gross und sehr häufig sind.

Ein Aschenbild vom gestreckten Anfangsteil des Mittelstückes aus dem Gebiete der Aussenzone ist in der Abb. 14 von einer normal tätigen Niere gezeigt. In den quergetroffenen Kanälchen weist das Cytoplasma ziemlich gleichmässigen Salzgehalt mittleren Grades auf, eine eigentliche Anhäufung ist weder basal noch lumenseitig zu erkennen. Die Kerne sind vom Zelleib scharf abgesetzt und haben ähnlichen Mineralgehalt wie die übrigen Nierenepithelien auch. In den Lumina findet sich etwas Asche, darunter sind auch stark leuchtende gröbere Granula der gleichen Art, wie sie als Inhalt der Hauptstücke beschrieben wurden. An Menge ist der im Lumen der Mittelstücke feststellbare anorganische Rückstand aber nicht annähernd mit dem in den Haupt-

stücken — besonders ihren geraden Teilen — gefundenen vergleichbar.

Kaum verschieden vom eben beschriebenen ist der gerade Teil des Mittelstückes auch im Bereich der Markstrahlen. Die Abb. 15 gibt einen solchen Abschnitt — zwischen zwei geraden Hauptstückteilen gelegen — wieder. Die glatte Begrenzung des Lumens, die niedrigen Zellen und die dicht stehenden Kerne ermöglichen die Diagnose als Mittelstück, sie ist übrigens auch hier wie in anderen Fällen durch Vergleich mit den Nachbarschnitten noch gesichert. Die Zellen sind so niedrig, dass sich die Kerne etwas in das Lumen hinein vorbuchten, vielerorts ist jedenfalls im Aschenbild keine deutliche Cytoplasmalage über dem Kern mehr zu erkennen. Dieser Zustand ist eine Folge der Tatsache, dass die apikalen Zellkuppen nach der Veraschung nur sehr schwer erkannt werden können. Sie sind in ihrem Innern völlig frei von anorganischen Stoffen, nur die lumenseitige Abgrenzung ist als äusserst feine Aschenlinie festzustellen, wenn man durch den Vergleich mit den benachbarten Kontrollpräparaten auf das Vorhandensein solcher Kuppen aufmerksam geworden ist. Dieser Befund scheint mir so wichtig, dass ich versuche, in der Abb. 16 einen Eindruck von einem solchen Aschenbild zu vermitteln. Das Vorkommen der salzfreien Kuppen in den Zellen lässt mich vermuten, dass im Mittelstück der Ort der Wasserrückresorption zu sehen ist; einen bindenden Beweis dafür kann ich aus den Beobachtungen an den Zustandsbildern nicht erbringen, doch steht auch kein anderer meiner Befunde im Widerspruch zu dieser Vermutung.

Im gewundenen Teil des Mittelstückes, dessen Aschenbild vorstehend noch nicht beschrieben wurde, sind die Zellen seitlich und — sofern Kuppen fehlen — auch lumenwärts gradlinig und scharf begrenzt. Der vom Cytoplasma herrührende Rückstand anorganischer Substanz bietet oft ein gefleckes Aussehen, da die Asche stellenweise dichter und lockerer liegt. Im ganzen findet man bei fehlenden Kuppen eher eine etwas stärkere Anhäufung der Salze im apikalen Bereich, doch sind auch die basalen Zellabschnitte noch immer deutlich aschehaltig. Im Lumen der gewundenen Teile des Mittelstückes ist der anorganische Rückstand gleicher Art und Menge wie im gestreckten Teil, er erreicht auch hier niemals eine so starke Anhäufung, wie sie in den gewundenen Teilen des Hauptstückes möglich ist.

Die gröberen Sammelrohre sind in den mit Alkohol fixierten Präparaten gewöhnlich geschrumpft. Ihr Epithel hat sich von der Basalmembran abgehoben und liegt als enger Ring frei im Lumen. Da mit einer solchen Schrumpfung natürlich auch eine relative Konzentration der Salze einhergeht, sind für die Beschreibung des Aschengehaltes in den Sammelrohren ausschliesslich mit Formol-Alkohol fixierte Präparate herangezogen worden. Der auffälligste Befund, der häufig auch schon die initialen Sammelrohre kennzeichnet, ist der hohe Aschengehalt im Lumen (Abb. 17). Stark leuchtende grobe Granula, darunter regelmässig orangefarbige kristallinische Bildungen finden sich meist einseitig im Lumen, eine Lage, die in allen Sammelröhren gleich gerichtet ist und wahrscheinlich während der Fixation entsteht. Sehr aschereich sind die Kerne, während die Zelleiber nicht auffällig viel anorganischen Rückstand hinterlassen haben. Die Abb. 17 zeigt ferner klar, dass irgend eine besondere Verteilung der Salze in den Epithelien nicht zu bemerken ist; nur die lumenseitige Oberfläche ist meist durch eine feine Lage körniger Asche markiert, ähnliche Körnchenreihen sieht man auch als Reste der Basalmembran.

B. Die Kaliumverteilung in der Niere des Meerschweinchens.

Bei schwacher Vergrösserung zeigen Präparate, die nach der Methode von Macallum zum Nachweis der Kaliumverteilung behandelt worden sind, dass überall in der Niere Kalium vorhanden ist. Normal tätige Nieren haben in der Rinde etwas höheren Kaliumgehalt als im Mark, innerhalb der Rinde sind es wieder die Hauptstücke, die den verhältnismässig grössten Anteil an Kalium aufweisen. Diese Befunde stimmen überein mit den Beobachtungen von Brown und von Menten, über die in der Zusammenstellung des Schrifttums berichtet wurde. Auch in weiteren Einzelheiten entsprechen meine Untersuchungsergebnisse den Mitteilungen von Brown und von Menten, so dass ich mich in der folgenden Beschreibung kurz fassen kann; neu sind hier die erstmals bei stärkerer Vergrösserung wiedergegebenen photographischen Bilder von der Kaliumverteilung.

Aehnlich wie in den Aschenbildern findet sich der höchste Kaliumgehalt in der ganzen Niere überhaupt wieder in den Blutgefässen, besonders in den Arterien. Nicht nur die im Lumen gelegenen Erythrocyten, sondern auch die Gefässwände selbst wei-

sen hohen Kaliumgehalt auf, der vor allem vom kollagenen Bindegewebe herzurühren scheint. Kalium ist auch zwischen den Glomerulusschlingen und in der Membrana propria der Bowmanschen Kapsel und der Nierenkanälchen vorhanden, es kann daher als normaler Bestandteil des kollagenen Bindegewebes angesehen werden.

In den Epithelien der Harnkanälchen finde ich die Kerne durchweg frei von Kalium, nur ganz vereinzelt liegen die für die positive Reaktion bezeichnenden schwarzen Kristalle um die Kerne herum etwas gehäuft oder sogar im Bereich eines Kernes selbst. Möglicherweise ist in solchen Fällen die positive Reaktion verursacht durch den Nucleolus, den z. B. Uwatoko (1927) in Nierenepithelien und auch Hintzsche (1939) in Nervenzellen kaliumhaltig gesehen haben.

In den Zellen der Hauptstücke normal tätiger Nieren kann Kalium in verschiedener Anordnung vorkommen. Teils finden sich Kanälchenquerschnitte, wo alle Zellen nahe dem Lumen gleichmässige, meist schwache Reaktion gegeben haben, teils sind starke Anhäufungen in den apikalen Abschnitten einzelner Zellen vorhanden; der Kanälchenquerschnitt erscheint dann bei schwacher Vergrösserung wie gefleckt. In Nieren mit gesteigerter Diurese findet sich häufiger geringer Kaliumgehalt in gleichmässiger Verteilung nahe der freien Oberfläche aller Zellen. Beispiele solcher Befunde sind in den Abb. 18—20 bei 600facher Vergrösserung zusammengestellt. Abb. 18 zeigt zwei quergetroffene gewundene Abschnitte des Hauptstückes von einer normal tätigen Niere. Das obere Kanälchen hat ein deutlich kleineres Lumen und ungleichmässige Verteilung des Kaliumgehaltes, der sich an einigen Stellen angehäuft findet. Bei dem unteren Kanälchenquerschnitt der Abb. 18 ist das Lumen weiter und die Kaliumreaktion wenigstens auf grosse Strecken nahe den freien Zelloberflächen ziemlich einheitlich. Im übrigen Teil enthalten die Zelleiber nur recht geringe Kaliummengen, wie die locker darüber hin verstreuten schwarzen Kristalle beweisen, erst in der Membrana propria wird der Kaliumgehalt wieder stark. Die Regelmässigkeit solcher Befunde ergibt sich aus der Abb. 19, in deren linker Hälfte zwei gewundene Hauptstückteile mit ungleicher Kaliumanordnung wiedergegeben sind. Abb. 20 endlich stammt von einer durch Parathormon-Injektion zu vermehrter Ausscheidung angeregten Niere. Bei niedri-

gen Epithelzellen und weitem Lumen ist die Kaliumreaktion sicher im ganzen schwächer; teils ist das Kalium gleichmässig nahe der Oberfläche der Zellen abgelagert, teils etwas ungleichmässig im Innern angehäuft.

Ueber den Kaliumgehalt in der Lichtung der Harnkanälchen lassen sich leider keine so zuverlässigen Befunde erheben wie bei den Aschenpräparaten. Da die Schnitte längere Zeit frei schwimmend im Reagens liegen, ist mit der Möglichkeit eines Verlustes von Kalium aus dem Lumen immer zu rechnen. Auffällig ist, dass selbst Stellen, die Gerinnsel in der Lichtung aufweisen, dort oft kein Kalium erkennen lassen.

Da sich in den Aschenpräparaten die Befunde an den geraden Teilen der Hauptstücke besonders gut zur funktionellen Auswertung eigneten, habe ich solche Stellen auch nach erfolgter Kaliumreaktion besonders eingehend untersucht. Mühelos lassen sich Reihen von Kanälchen mit verschiedener Lumenweite aus Markstrahlen normal tätiger Nieren zusammenstellen (Abb. 22—24). Die in der variablen Lumenweite zum Ausdruck kommenden Unterschiede im Masse der Durchströmung finden im Kaliumgehalt der Zellen aber keine so deutliche Parallele wie in den Aschenpräparaten. Bei Kanälchen mit weitem Lumen (Abb. 24) erscheint zwar die Kaliummenge in den Zellen etwas geringer; der Unterschied ist aber nicht so stark wie in den Präparaten zum Nachweis der gesamten anorganischen Bestandteile. Die oben an Aschenbildern beschriebenen Befunde, die sich nur durch eine Sekretion von Salzen, nicht aber durch deren Rückresorption erklären lassen, können in den Präparaten zum Nachweis der Kaliumverteilung nicht sicher erhoben werden. Dabei ist zu betonen, dass nur die technischen Bedingungen bei der Ausführung der Kaliumreaktion zur Zeit noch genauere Feststellungen unmöglich machen. Aus der Art der Kaliumverteilung in den Hauptstücken der Niere lassen sich weder für die Sekretions- noch für die Rückresorptionstheorie beweisende Befunde anführen.

Vom Ueberleitungsstück des Nephrons sind irgendwelche Besonderheiten der Kaliumverteilung nicht zu melden.

Im Mittelstück sind gewöhnlich die für die positive Kaliumreaktion bezeichnenden schwarzen Kristalle ziemlich gleichmässig über die ganze Zelle verstreut. Die Kerne bleiben frei. Nur die

Basalmembran ist wieder stark kaliumpositiv, wie vor allem auch Flachschnitte erkennen lassen. Im ganzen ist der Gehalt der Mittelstücke an Kalium bei normaler und bei gesteigerter Durchströmung der Kanälchen meist gering. Als Beleg dafür sei auf die photographischen Aufnahmen von der Nierenrinde (Abb. 19 und 20) hingewiesen, die beide auch je einen Querschnitt durch den gewundenen Teil des Mittelstückes enthalten. Die Abb. 19 zeigt nur geringe Kaliummengen in den Zellen bei normaler Nierentätigkeit, Abb. 20 bietet den gleichen Befund in einer Niere mit gesteigerter Diurese. Wie im gewundenen ist auch im vorhergehenden geraden Teil des Mittelstückes sowohl im Bereich der Aussenzone wie im Markstrahl niemals so reichlich Kalium vorhanden wie in den Hauptstückzellen. Das Kalium findet sich auch dort mehr oder weniger gleichmässig im ganzen Zelleib verteilt (Abb. 21). In Mittelstücken mit deutlichen Kuppen sind diese als helle Gebilde erkennbar, sie sind stets frei von Kalium gefunden worden. Nicht nachweisbar ist Kalium auch in der Lichtung solcher Kanälchenabschnitte.

Von den Sammelrohren liegt ebenfalls kein Befund stärkerer Kaliumanhäufung vor. Die Zellen besitzen dort wohl im ganzen etwas höheren Kaliumgehalt als die der Mittelstücke, das Kalium ist oft auch nicht ganz so gleichmässig über den Zelleib verteilt wie in jenen, sondern eher mehr lumenseitig zu finden. Ein geringer Anteil davon mag auch aus der Lichtung gegen die Zelloberfläche hin abgelagert sein, doch sind sichere Befunde über den Kaliumgehalt im Lumen der Sammelrohre wegen der oben beschriebenen technischen Schwierigkeiten nicht zu erheben gewesen. Auch in den Sammelrohren stimmen die neuen Feststellungen mit den Beobachtungen früherer Untersucher überein, die alle — wenigstens bei ausgewachsenen Tieren — die Zellen der Sammelrohre kaliumarm nennen.

Ein Rückblick auf die vorstehend in aller Kürze angeführten Befunde über die Lage des Kaliums in der Niere ausgewachsener Meerschweinchen lässt erkennen, dass nur die Hauptstücke in ihren gewundenen und ihren geraden Teilen durch höheren Gehalt und etwas wechselnde Anordnung des Kaliums ausgezeichnet sind. Da sich eine typische Lagerung des Kaliums, die im Sinne der Sekretions- oder der Rückresorptionstheorie gedeutet werden müsste, nicht findet, begnüge ich mich hier mit der Feststellung, dass

die Hauptstücke mit allergrösster Wahrscheinlichkeit als wichtige Orte des Kaliumstoffwechsels angesehen werden müssen.

Auswertung der Befunde

Eine Beurteilung der vorstehend beschriebenen Befunde und der zu ihrer Deutung angeführten Ueberlegungen hat in mehreren Richtungen zu erfolgen:

1. müssen sie mit den Feststellungen früherer Untersucher über die Verteilung der anorganischen Substanzen in der Niere verglichen werden,

2. ist ihre Beziehung zu anderen morphologischen Beobachtungen über funktionell bedingte Veränderungen an den Nierenepithelien abzuklären und

3. ist die Bedeutung der so gewonnenen Ergebnisse für die Theorien über die Arbeitsweise der Niere zu erörtern.

Die Feststellungen über die Verteilung der Gesamtasche in der Niere des Meerschweinchens stimmen in den Grundzügen mit den an verschiedenartigem Material gewonnenen Befunden von Okkels (1927), Schultz-Brauns (1931) und Scott (1933) überein. Nur in wenigen Punkten haben sich Abweichungen ergeben, so finde ich z. B. entgegen Schultz-Brauns das Bindegewebe im Markkegel nicht auffällig aschereich; Unterschiede im Lebensalter können als mögliche Ursache dieser Differenz angeführt werden. Keiner ausführlichen Erörterung bedarf auch, dass die von Scott in den Hauptstücken erwähnten grossen salzfreien Vakuolen in meinem Untersuchungsmaterial fehlen; ebenso möchte ich den unterschiedlichen Befunden hinsichtlich des Bürstensaumes keine allzu grosse Bedeutung beimessen. Unwichtig für die hier abzuhandelnde Frage nach den Orten des Salzstoffwechsels in der Niere aber prinzipiell schwerwiegend scheinen mir dagegen die Differenzen in den Angaben über den Mineralgehalt der Kerne. Schulze und Zschau (1935) und später Preminger (1940) stehen allein mit der Behauptung, dass die Kerne calciumfrei aber kaliumhaltig sein sollen.

Sucht man weniger nach Unterschieden als nach auffällig übereinstimmenden Angaben, so weisen die experimentellen Untersuchungen von Rochl (1905), von Okkels (1927) und von Schönholz (1929) ebenso auf die Hauptstücke als Orte des

Calciumstoffwechsels hin wie meine eigenen Befunde an veraschten Präparaten von normal und gesteigert tätigen Nieren. Dieselbe Uebereinstimmung ergibt sich auch bezüglich der Orte des gehäuften Kaliumvorkommens. Brown (1912), Menten (1922), Schulze und Zschau (1935) und endlich meine neuen Befunde an der Meerschweinchenniere zeigen wiederum die Hauptstücke als auffällig kaliumreich; nicht einzufügen ist hier einzig die wenig klare Beschreibung von Uwatoko (1927), wenigstens soweit sich seine Befunde auf jugendliche Nieren beziehen.

Herrscht also nach topochemischen Untersuchungen weit verbreitet die Auffassung, dass für Kalium und Calcium und vielleicht für anorganische Substanzen ganz allgemein die Hauptstücke als Stoffwechselorte in Frage kommen, so besteht über die Art von deren Beteiligung am Stoffwechsel weit weniger Uebereinstimmung: Für Kalium denkt Brown an Sekretion, Schulze und Zschau dagegen sprechen von Rückresorption; ich selbst habe mangels geeigneter Kriterien und unter Berücksichtigung der heute noch vorliegenden technischen Unvollkommenheiten der histochemischen Präparate für das Kalium auf eine genauere Beurteilung verzichten müssen. Als weit günstiger haben sich in technischer Beziehung die Aschenpräparate erwiesen; in den gewundenen und besonders in den geraden Teilen der Hauptstücke können sie bei normaler Nierentätigkeit eine Häufung von anorganischen Substanzen im Lumen aufweisen, die meines Erachtens nur als Folge von sekretorischen Vorgängen zu deuten ist.

Ich wiederhole kurz meine Befunde: Die Zellen der Hauptstücke enthalten lumenseitig oft aschegebende Substanzen, deren Menge von ganz geringer bis zu hochgradiger Ablagerung wechselt, woraus zu folgern ist, dass es sich dabei mit grosser Wahrscheinlichkeit um funktionsbedingte Unterschiede handelt. Solche im apikalen Zellbereich gelegenen anorganischen Stoffe können sowohl als Vorstufen einer Sekretion wie als Produkte einer aus dem Lumen erfolgten Rückresorption aufgefasst werden. Eine Unterscheidung dieser Vorgänge aus dem Zustand wird möglich, wenn man die Weite und den Füllungsgrad der Kanälchenlichtung berücksichtigt. Kein Abschnitt des Nephrons hat im Lumen einen so hohen Aschengehalt erkennen lassen wie die gewundenen und besonders die geraden Teile der Hauptstücke. In engen Kanälchen dieser Art kann man die sternförmigen Lumina völlig

mit anorganischen Substanzen ausgefüllt finden. Sollte ein solcher Zustand als Folge der Rückresorption von Wasser aus dem Lumen gedeutet werden, so müssten auch alle nachfolgenden Teile des Nephrons die gleiche hochgradige Füllung mit aschegebenden Stoffen aufweisen; da das nicht der Fall ist, bleibt als Deutung für den hohen Aschengehalt im Lumen der geraden Hauptstückteile nur die Auffassung einer Abscheidung von Salzen durch die Zellen, womit auch deren wechselnder Gehalt an anorganischen Stoffen ausgezeichnet übereinstimmt.

Für die Abklärung der Beziehungen zwischen den hier beschriebenen Befunden und anderen morphologischen Beobachtungen über funktionell bedingte Veränderungen in den Epithelien der Hauptstücke muss zunächst auf eine grundsätzlich wichtige Bemerkung hingewiesen werden, die v. Möllendorff (1930) u. a. auch speziell hinsichtlich der Niere des Meerschweinchens macht. Er schreibt: „Sicher ist ein ganz grosser Teil der Angaben über funktionelle Schwankungen im Aussehen der Hauptstücke darauf zurückzuführen, dass man übersehen hat, dass jedes Hauptstück an sich verschieden gebaute Abschnitte besitzt." Diese Unterscheidung von drei Abschnitten im Hauptstück erfolgt im wesentlichen nach der Dichte der basalen Stäbchen bezw. der an ihrer Stelle gelegenen granulären Strukturen. Da diese Bildungen in den Aschenpräparaten nicht zur Darstellung kommen, scheiden zum Vergleich alle jene morphologischen Befunde aus, die sich mit angeblichen funktionellen Unterschieden an den plastosomalen Strukturen (basale Stäbchen usw.) beschäftigen.

Als den tatsächlichen Verhältnissen entsprechend erkennt aber auch v. Möllendorff die Unterschiede in der Lumenweite der Kanälchen an, indem er sie für abhängig vom Grade der Flüssigkeitsdurchströmung erklärt, eine Feststellung, die in dieser Arbeit erneut erwiesen wurde; die mit der Lumenweite korrespondierenden Differenzen der Epithelgestaltung werden als Folge der „ungewöhnlichen Quellbarkeit des supranucleären Gebietes" der Hauptstückzellen gedeutet. Im wesentlichen pflichtet v. Möllendorff der älteren Anschauung bei, dass nur Volumänderungen der Hauptstückzellen als funktionelle Schwankungen anzuerkennen sind; die Arbeit des Hauptstückes sieht er ganz oder wenigstens hauptsächlich als eine resorptive an, wobei Speicherorte eine grosse Rolle spielen sollen. Mit Absicht habe ich diese von meiner

Auffassung abweichende Darstellung v. Möllendorffs ausführlich erwähnt, um die Schwierigkeiten aufzuweisen, denen eine Beurteilung funktioneller Aenderungen im mikroskopischen Aussehen der Hauptstückzellen begegnet.

Demgegenüber sind aber den älteren Befunden über das Vorkommen einer Abgabe von geformten Zellbestandteilen in den Hauptstücken (Literatur bei v. Möllendorff 1930, S. 93—94) im letzten Jahrzehnt eine Reihe neuer Beobachtungen hinzugefügt, die sich mit einer Deutung als Fixierungsartefakt nicht mehr erledigen lassen. In einem Referat hat Bargmann (1939) auf Grund eigener Untersuchungen und unter Berücksichtigung gerade dieses neueren Schrifttumes die Befunde zusammengestellt, die neben der resorptiven Tätigkeit auch die sekretorische Potenz des Nephrons im allgemeinen und der Hauptstückzellen im besonderen hervorheben. Beziehungen zu den hier mitgeteilten Befunden haben von diesen Untersuchungen aus dem letzten Dezenium vor allem die Beobachtungen von Krüger (1937). Der supranucleäre Teil der Hauptstückzellen kann nach seinen Angaben Kuppenbläschen entstehen lassen, die den Bürstensaum durchbrechen, sich ins Lumen hinein öffnen und „ihren Inhalt, der ja sicherlich eine konzentrierte Salzlösung darstellt", dabei abgeben. Interessant ist im Vergleich mit den Befunden über die anorganischen Substanzen in den Zellen einmal deren mit den Kuppenbläschen übereinstimmende Lokalisation; zum anderen wird mit der Möglichkeit einer plötzlichen Entleerung der Salzlösung auch der schnelle Wechsel zwischen starker und geringer Anhäufung von Salzen in den Zellen und das Vorkommen hoher Konzentrationen anorganischer Substanzen in den Lumina erklärbar. Eine derartige Abgabe von Salzen, die in den Hauptstückzellen vorher angereichert worden sind, muss als sekretorische Leistung bezeichnet werden, auch wenn die Ausscheidung nicht als geformte Substanz erfolgt. Da einerseits an dem Vorkommen von Rückresorption im Hauptstück nicht gezweifelt werden kann und andererseits hier ein neuer Beleg für die sekretorische Tätigkeit derselben Abschnitte des Nephrons erbracht werden konnte, halte ich mit Bargmann die schon verschiedentlich geäusserte Ansicht von der Doppelfunktion des Hauptstückes für berechtigt.

Die von Bargmann am Schluss seines Referates ausgedrückte Hoffnung, dass durch die Zusammenarbeit von Gewebelehre und

Chemie zu ermitteln sein wird, welche Bestandteile des Harnes mit Hilfe des einen oder des anderen Mechanismus abgesondert werden, ist für anorganische Substanzen vor allem das Calcium und wahrscheinlich auch das Kalium — durch die vorliegende Arbeit erfüllt.

Noch eine weitere Forderung Bargmanns, dass nämlich den sich distal an das Hauptstück anschliessenden Teilen des Nephrons bei histochemischen Untersuchungen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte, ist in der vorliegenden Untersuchung als selbstverständlich berücksichtigt. Die älteren Befunde über das Vorkommen von Kuppenbläschen im Mittelstück, wie sie z. B. K. W. Zimmermann (1911) nach Beobachtungen an der Hundeniere beschrieben und klar abgebildet hat, sind merkwürdigerweise im neueren Schrifttum nicht wieder erwähnt ausser in der oben genannten ablehnenden Bemerkung v. Möllendorffs. Das ist umso auffälliger, als sich die Studien von Krüger ja auf morphologisch ähnliche Bildungen an den Hauptstückzellen beziehen, mit einem Unterschied allerdings, dass nämlich die Kuppenbläschen im gewundenen und im geraden Teil des Mittelstückes praktisch salzfrei sind. Krüger hat schon die Frage erörtert, ob die Kuppenbläschen der Hauptstückzellen immer nur die Bedeutung haben, sich mit den in ihnen gelösten harnpflichtigen Stoffen ins Lumen des Kanälchens zu entleeren, oder ob sie auch bei einfacher Wasserrückresorption und dessen Abgabe an die Kapillaren beteiligt sind. In Analogie zu diesen Vorstellungen kann die gleiche Annahme einer Rückresorption von Wasser auch für die Kuppenbläschen der Mittelstücke gemacht werden; die Berechtigung dazu ist umso grösser, als sich die Kuppen dort ganz salzfrei erwiesen haben und erst von den kleineren Sammelrohren ab — als Folge der nun eingetretenen Konzentration des Harnes — wieder hoher Salzgehalt im Lumen der Ausführungsgänge nachweisbar ist.

Nach den hier mitgeteilten Befunden und den daran angeschlossenen Erörterungen hätte man sich also die Absonderung der anorganischen Substanzen in der Säugerniere folgendermassen vorzustellen: Mit dem Glomerulusfiltrat werden ohne Zweifel gelöste Salze ausgeschieden, deren Konzentration aber in Anbetracht der nur kleinen im Blute vorhandenen Mengen anorganischer Substanz so gering ist, dass sie histochemisch im Lumen der Endkammer kaum fassbar sind. Ein weiterer wichtiger Stoffwechsel-

ort für anorganische Substanzen, darunter Calcium- und Kaliumverbindungen, sind die gewundenen und die geraden Teile des Hauptstückes. Die Hauptstückzellen vermögen lumenseitig Salze anzureichern, die vor der Abscheidung in Wasser gelöst werden; dieses Wasser kann entweder aus den Kanälchen rückresorbiert worden sein oder aus den Blutkapillaren herrühren. Die im Lumen mancher Hauptstücke nachweisbaren hochkonzentrierten Salzlösungen müssen als Folge einer Sekretion anorganischer Stoffe seitens der Zellen gedeutet werden. Sie sind in den Kanälchenlichtungen vor allem nachweisbar bei fehlender oder stark herabgesetzter Durchströmung des betreffenden Nephrons, die an der Lumenweite erkannt werden kann und von Grade der Durchblutung des zugehörigen Glomerulus abhängt. Mit wiedereinsetzender Durchströmung des Glomerulus und daraus resultierender Ultrafiltration von Primärharn werden die in den engen Lichtungen der Hauptstücke angesammelten konzentrierten Salzlösungen verdünnt und ausgespült; die Lumina werden gleichzeitig erweitert, die in ihnen enthaltenen anorganischen Substanzen erscheinen wegen der grösseren Verdünnung und der beschleunigten Ausspülung an Menge geringer. In den Lichtungen der Verbindungs- und der Mittelstücke sind daher niemals grössere Aschenmengen nachweisbar; sie werden erst wieder deutlich in den initialen Sammelrohren, nachdem in den geraden und besonders den gewundenen Teilen der Mittelstücke unter Ausbildung von Kuppenbläschen an den Zellen eine Rückresorption von Wasser stattgefunden hat, wodurch wieder eine Erhöhung der Salzkonzentration im Lumen eintritt.

Klinisch und physiologisch wird zwar immer betont, dass Glomerulus und Tubulus als Leistungseinheit aufgefasst werden müssen; die für die anorganischen Substanzen hier entwickelte Vorstellung einer mindestens zeitweise getrennten Arbeitsleistung des Nephrons und des zugehörigen Glomerulus erscheint jedoch nicht abwegig, wenn man die Befunde über deren Gefässversorgung und Durchblutung berücksichtigt. Mehrfach ist erwiesen, dass von den Glomeruli einer Niere immer nur ein Teil ganz durchblutet ist, in anderen aber entweder nur einzelne Kapillarschlingen durchströmt werden oder die Durchblutung sogar völlig aufhört. Mit der Gefässperre an der A. afferens ist aber nicht notwendigerweise auch eine Sperre für die Blutkapillaren des zugehörigen Nephrons

verbunden; die Versorgung der Harnkanälchen mit Blut geschieht ja nicht ausschliesslich von den Vasa efferentia aus, sondern auch auf mancherlei Nebenwegen z. B. aus der A. afferens oder direkt aus den Aa. corticales radiatae. Anatomisch bestehen also keine Bedenken gegen die Annahme, dass die Nierenkörperchen und die ihnen zugehörenden Nephrone, besonders deren Hauptstückabschnitte, zeitweise selbständig und unabhängig von einander arbeiten können. Die klinischen Erfahrungen beweisen aber, dass es sich bei dieser Möglichkeit einer getrennten Arbeitsleistung von Glomerulus und Tubulus nur um ganz vorübergehende Phasen aus dem Bereich der gesamten Nierentätigkeit handeln kann. Reine Erkrankungen des glomerulären oder des tubulären Apparates ohne Rückwirkung des einen auf den anderen sind, wie ich einer der neuesten Arbeiten auf dem Gebiete der Nierenpathologie (Fishberg, 1939) entnehme, nicht bekannt; der theoretischen Bedeutung wegen sucht man immer wieder nach solchen reinen Erkrankungsformen, da man daraus wertvolle Aufschlüsse über die normale Nierentätigkeit erwarten könnte, bisher jedoch erfolglos.

Zum Abschluss der Erörterungen, die sich an die neuen Befunde über die Salzverteilung in der Säugerniere anknüpfen liessen, sei hier nochmals deren Bedeutung für die Theorien von der Arbeitsweise der Nieren hervorgehoben. Die bestechenden Ergebnisse physiologischer Forschung haben der Rückresorptionstheorie zweifellos beträchtliche Stützung verschafft, so dass manche Untersucher (Cushny 1926, Ekehorn 1932) diese allein zur Erklärung der Vorgänge bei der Harnbildung für ausreichend gehalten haben. Seit aber die einer solchen Auffassung als Grundlage dienenden Studien über die Kreatininabsonderung eine Erschütterung erfahren haben, wird (trotz der an die Stelle des Kreatinins getretenen Inulinbefunde) neben der resorptiven auch die sekretorische Tätigkeit der Tubuli wieder mehr anerkannt (z. B. Fishberg 1939); mit einer solchen Deutung stimmen auch meine histophysiologischen Befunde über die Salzverteilung in der Säugerniere überein, während die reine Rückresorptionstheorie nicht imstande ist, alle Einzelbeobachtungen befriedigend zu erklären. Hiess früher die Streitfrage in der Nierenphysiologie Rückresorption oder Sekretion, so heisst jetzt die Antwort: neben der Filtration durch die Kapillarschlingen der Glomeruli und der syn-

thetischen Arbeit von seiten der Tubuli sind diese durch Rückresorption und Sekretion an der Harnabsonderung beteiligt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Nach Veraschung mikroskopischer Präparate ist im Dunkelfeld eine Beurteilung der Lage und der Menge anorganischer Substanzen in den Nierenkanälchen bis in Einzelheiten möglich. Untersuchungen dieser Art wurden an den Nieren von 21 Meerschweinchen ausgeführt, von denen bei 16 durch eine genaue Kontrolle der ausgeschiedenen Harnmengen der jeweilige Funktionszustand im Momente der Fixation bestimmt worden ist.

Die gewundenen und die geraden Teile der Hauptstücke erweisen sich auf Grund ihres ausserordentlich stark wechselnden Gehaltes an anorganischen Substanzen als die Hauptorte des Salzstoffwechsels in der Niere, wofür auch aus dem älteren Schrifttum einige experimentelle Erfahrungen sprechen (Roehl 1905, Okkels 1927, Schönholz 1929). Anorganische Substanzen werden in den Zellen der Hauptstücke vor allem lumenseitig angereichert gefunden. Mit grossen Mengen aschegebender Stoffe ist auch besonders die Lichtung der geraden Teile der Hauptstücke von wenig durchströmten Nephronen dicht gefüllt, während die nachfolgenden Abschnitte des Harnkanälchens im Lumen nur geringe Mengen von Salzen erkennen lassen. Da die Rückresorptionstheorie diesen Befund nicht zu erklären vermag, werden die Feststellungen als beweisend für eine Sekretion der Salze durch die Hauptstückzellen angesehen und ihre Uebereinstimmung mit diesbezüglichen morphologischen Befunden von Krüger (1937) erörtert.

Ueber die Kaliumverteilung in der Niere sind frühere Beobachtungen (Brown 1912, Menten 1922, Schulze und Zschau 1935) zu bestätigen, sie weisen gleichfalls auf die Hauptstücke als wichtige Orte des Kaliumstoffwechsels in der Niere hin.

An den Zellen der Mittelstücke kommen lumenseitig oft bläschenartige Kuppen vor; Grösse und Menge dieser Kuppen sind abhängig vom Grade der Durchströmung des betreffenden Nephrons, der an der Lumenweite und der Zellhöhe erkannt werden kann. Die Kuppen sind stets frei von Kalium und anderen anorganischen Substanzen, sie werden als Zeichen der Wasserrückresorption aus den Kanälchen gedeutet. Mit dieser Annahme steht in

guter Uebereinstimmung, dass erst von den initialen Sammelrohren ab wieder grössere Mengen anorganischer Substanzen in der Lichtung gefunden werden.

Die Feststellungen über die Verteilung der Salze in der Niere sind ein neuer Beleg für die kürzlich auf Grund morphologischer Studien von Bargmann (1939) wieder vertretene Ansicht, dass die Hauptstückzellen sowohl resorptiv wie sekretorisch tätig sind. Weiter zwingen die mitgeteilten Beobachtungen zu der Schlussfolgerung, dass die Harnkanälchen — besonders deren Hauptstückabschnitte — zeitweise unabhängig von den zugehörigen Nierenkörperchen arbeiten können, eine Annahme, gegen die anatomisch keine Bedenken bestehen und die auch mit der physiologisch und klinisch wichtigen Vorstellung von der Leistungseinheit des glomerulären und des tubulären Apparates nicht in Widerspruch steht.

Literaturverzeichnis

Bargmann, W. Das Problem der Nierenleistung im Lichte der morphologischen Forschung. Zentralblatt für innere Medizin. 60. 1939.

Brown, C. P. On the distribution of potassium in renal cells. Transact. Canad. Instit. 9. 1912.

Cushny, A. R. Die Absonderung des Harns. G. Fischer, Jena, 1926.

Ekehorn, G. Haben die Tubuli der Nieren sezernierende oder resorbierende Funktionen? Virchows Arch. 285. 1932.

Fishberg, A. M. Hypertension and nephritis. Baillière, Tindall and Cox, London 1939.

Hintzsche, E. Die Verteilung anorganischer Stoffe im Nervengewebe. Zschr. mikr.-anat. Forschg. 46. 1939.

Krüger, O. Versuche zur Fixierung des Funktionszustandes der Hauptstücke der menschlichen Niere und zur Bedeutung der Kuppenbläschen der Epithelien. Zschr. mikr.-anat. Forschg. 41. 1937.

Macallum, A. B. On the distribution of potassium in animal and vegetable cells. Journ. of Physiol. 32. 1905.

Marza, V. D. Contribution à la méthode de Macallum pour la détection histochimique du potassium. Bull. d'Histol. appl. 13. 1936.

Menten, M. L. The microchemical distribution of potassium in normal kidneys and in those in which pathological changes have been produced by mercuric chloride. Journ. of med. research 43. 1922.

v. Möllendorff, W. Der Exkretionsapparat in: Handbuch der mikr. Anatomie des Menschen VII/1 1930. J. Springer, Berlin.

Okkels, H. Diposition de la chaux dans les reins dans l'intoxication expérimentale par le calcium. Bull. d'Histol. appl. 4. 1927.

Preminger, N. Veränderungen der Topik des Kaliums und Calciums im histologischen Bilde von Leber und Niere bei ganz bestrahlten Kaninchen. Diss. med. Bern 1940.

Roehl, W. Ueber Kalkablagerung und -ausscheidung in der Niere. Beitr. pathol. Anat. 7 Suppl. 1905.

Schönholz, L. Histochemische Untersuchungen an der Plazenta und dem experimentell erzeugten Infarkt mittels der Mikroveraschung. Klin. Wochenschr. 1929.

Schultz-Brauns, O. Ueber den Ausbau der Technik der Schnittveraschung und über neue histo-topochemische Aschenbefunde. Verhdlg. Dtsch. Pathol. Gesellsch. 26. 1931.

— Eine neue Methode des Gefrierschneidens für histologische Schnelluntersuchungen. Klin. Wochenschr. 1931.
Schulze, W. und Zschau, H. Ueber die topographische Verteilung des Kalium und Calcium im gesunden und krankhaft veränderten Gewebe. Frankfurt. Zeitschrift für Pathologie. 48. 1935.
Scott, G. H. The localization of mineral salts in cells of some mammalian tissues by micro-incineration. Americ. Journ. of Anat. 53. 1933.
Uwatoko, Y. Zur Kaliumgranula in Nierenepithelien (sic!). The Nagoya Journ. of medic. science 2. 1927.
Zimmermann, K. W. Zur Morphologie der Epithelzellen der Säugerniere. Arch. f. mikrosk. Anat. 78. 1911.

Vorbemerkung zu den Aschenbildern auf Tafel 1—3.

Soweit nicht ausdrücklich eine andere Angabe unter den Mikrophotogrammen der Aschenbilder steht, gilt folgende Vorbehandlung: Fixation in absolutem Alkohol, Einbettung über Benzol in Paraffin, Schnittdicke 5μ, Veraschung in Luft bei 520° C., Abbildung im Dunkelfeld durch Zeiss Cardioid-Kondensor. Die anorganischen Bestandteile heben sich weiss vom dunklen Grund ab.

Abb. 2. Aschenbild eines Nierenkörperchens (Glomerulus und Bowmansche Kapsel), Vergr. 350 fach.

Abb. 3 und 4. Aschenbilder der Nierenrinde, Vergr. 350 fach. Alle Kanälchenquerschnitte sind gewundene Teile des Hauptstückes mit Ausnahme der im Lumen mit x bezeichneten, die dem gewundenen Teil des Mittelstückes zugehören. Abb. 3: Rinde einer sehr wenig tätigen Niere (Tier Nr. 9, Harnausscheidungskurve siehe Abb. 1). Abb. 4: Rinde einer nach Parathormoninjektion stark tätigen Niere (Tier Nr. 8, Harnausscheidungskurve siehe Abb. 1). Zu beachten sind gegenüber Abb. 3 die Zunahme der Lumenweite und die Abnahme der Zellhöhe.

Abb. 5. Aschenbild der Rinde einer normal tätigen Niere, Vergr. 350 fach. Gewundener Teil des Hauptstückes mit lumenseitig angehäuftem Gehalt an anorganischen Substanzen, deren intra- oder extrazelluläre Lage nicht sicher zu entscheiden ist.

2
3
4
5

Abb. 6. Aschenbild der Rinde einer normal tätigen Niere, Vergr. 600 fach. Querschnitte durch gewundene Teile des Hauptstückes in verschiedenem Funktionszustand. Das linke Kanälchen hat enges Lumen und reichlich intrazellulär gelegene anorganische Substanz, das rechte Kanälchen hat weniger salzreiche Zellen und etwas weiteres Lumen; unten zwischen den beiden Kanälchen ein Querschnitt mit sternförmiger, ganz mit Asche gefüllter Lichtung.

Abb. 7. Aschenbild vom gewundenen Teil eines sehr weiten Hauptstückes aus der Niere des Tieres Nr. 8, Vergr. 600 fach. Benachbarte, mit Eisenhämatoxylin gefärbte Schnitte zeigten rundum Bürstenbesatz, im Aschenbild bleiben sicher nachweisbare Reste davon nicht erhalten.

Abb. 8—10. Aschenbilder von geraden Teilen des Hauptstückes einer normal tätigen Niere, Vergr. 600 fach. Drei verschiedene Stadien der Ascheanreicherung im Lumen: in Abb. 8 ist das zackig begrenzte Lumen völlig mit anorganischer Substanz ausgefüllt, in Abb. 9 ist der Ascheninhalt des Lumens noch reichlich aber schon etwas lockerer, in Abb. 10 sind nur noch geringe Aschenmengen im erweiterten Lumen erkennbar.

Abb. 11 und 12. Aschenbilder vom Ueberleitungsstück einer normal tätigen Niere im Quer- und Längsschnitt, Vergr. 600 fach. Mit Ausnahme der Kerne ist der Aschengehalt der Epithelien sehr gering.

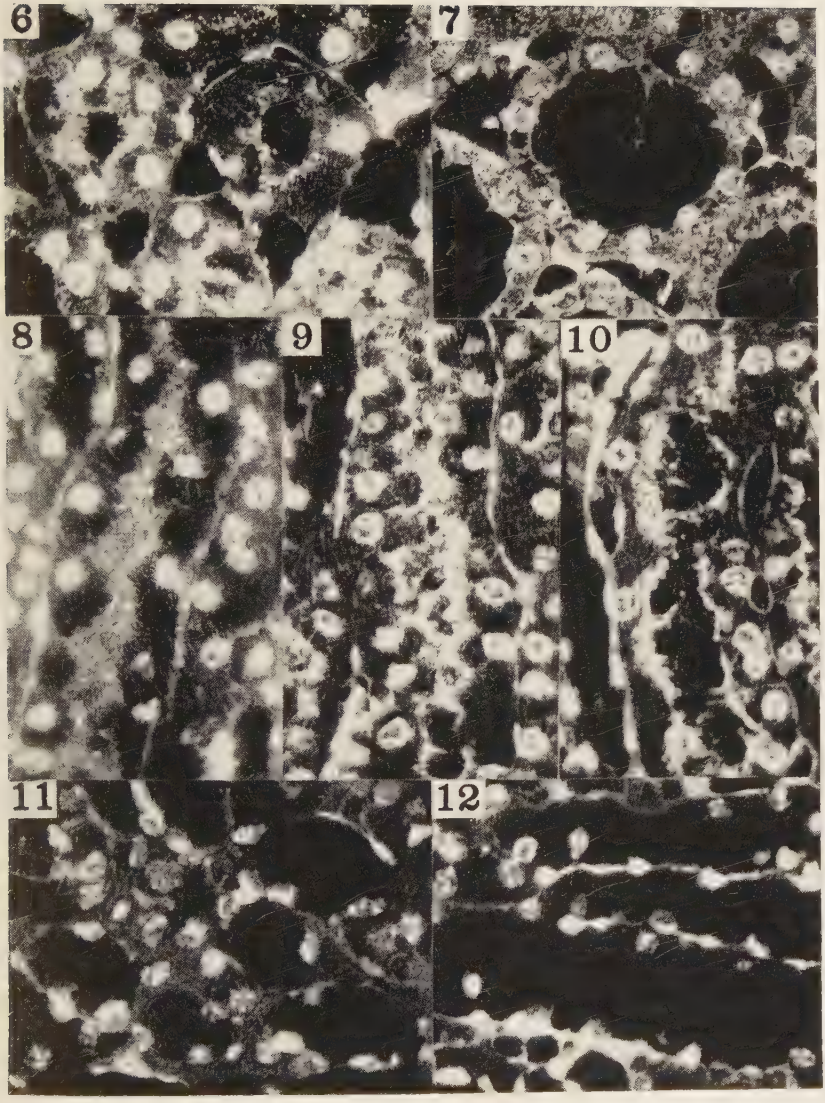

6
7
8
9
10
11
12

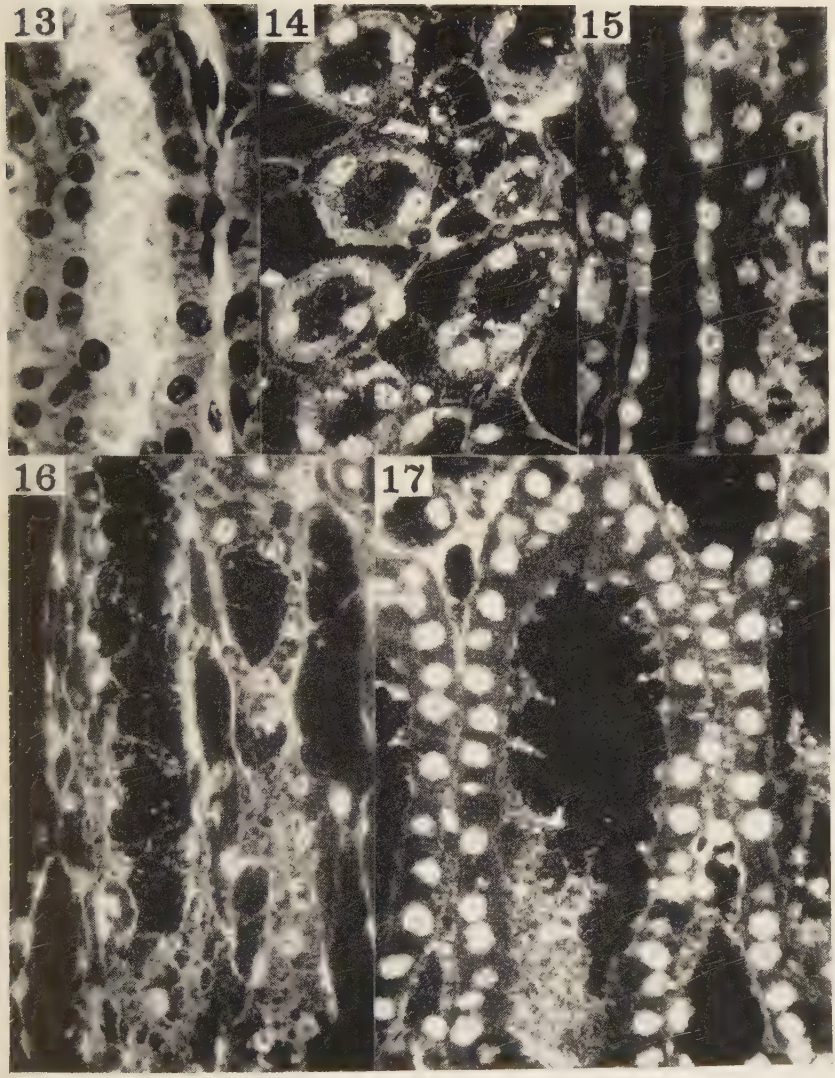
Abb. 13. Gerader Teil des Mittelstückes im Bereich eines Markstrahles von einer stark tätigen Niere (Tier Nr. 8), Vergr. 600 fach. Abs. Alkohol, Paraffin, 5 μ, Eisentrioxyhämatein. Grosse helle Kuppen ragen von den Zellen in das Lumen hinein, sie sind z. T. auch flach geschnitten und scheinen dadurch allseitig frei in der Lichtung zu liegen. Vergleichspräparat zu Abb. 16.

Abb. 14. Mittelstück aus dem Bereich der Aussenzone im Aschenbild, Vergr. 600 fach. Die quergetroffenen Kanälchen haben ziemlich gleichmässigen Salzgehalt im Zelleib; im Lumen wenig, z. T. grob granuläre und im Dunkelfeld stark leuchtende Asche.

Abb. 15. Aschenbild vom Mittelstück aus dem Markstrahl einer normal tätigen Niere, Vergr. 600 fach. Durch die niedrigen Epithelzellen und die dicht stehenden Kerne ist das Mittelstück vom Hauptstück leicht zu unterscheiden. Im Cytoplasma der Mittelstückzellen ist die Asche gleichmässig verteilt.

Abb. 16. Aschenbild eines Mittelstückes aus dem Markstrahl einer stark tätigen Niere (Tier Nr. 8), Vergr. 600 fach. Die in Abb. 13 von einem gewöhnlichen Kontrollpräparat gezeigten Kuppen erweisen sich als ganz aschefrei, nur ihre lumenseitige Begrenzung ist als feine Linie anorganischer Substanz mit ein- und aufgelagerten stark leuchtenden Aschegranula deutlich.

Abb. 17. Aschenbild eines Sammelrohres von einer normal tätigen Niere nach Fixation in Formol-Alkohol, Vergr. 600 fach. Reichlich grobkörnige Asche im Lumen, die grösstenteils orange bis bräunlich gefärbt ist und sich auch entlang der freien Zelloberfläche findet; in den Zelleibern der Epithelien ist eine bestimmte, regelmässige Verteilung der anorganischen Substanzen nicht erkennbar.


13
14
15
16
17

Vorbemerkung zu den Abbildungen 18—24.

Bei dem Nachweis der Kaliumverteilung nach der Methode von Macallum gilt als positive Reaktion das Auftreten schwarzer Kristalle, deren Häufigkeit und Anordnung Schlüsse auf die Menge und die Lage des Kaliums im Gewebe zulässt. Vorbehandlung der Präparate: Fixation mit absolutem Alkohol, Paraffineinbettung über Benzol, Schnittdicke 7½ μ. Nach Entparaffinierung ½ Stunde Reagenseinwirkung, Entfernung des Reagensüberschusses durch Waschen in 50 % Alkohol (nach den Angaben von Marza 1936), Ammoniumsulfid, Entwässerung, Kanadabalsam. Vergrösserung 600 fach.

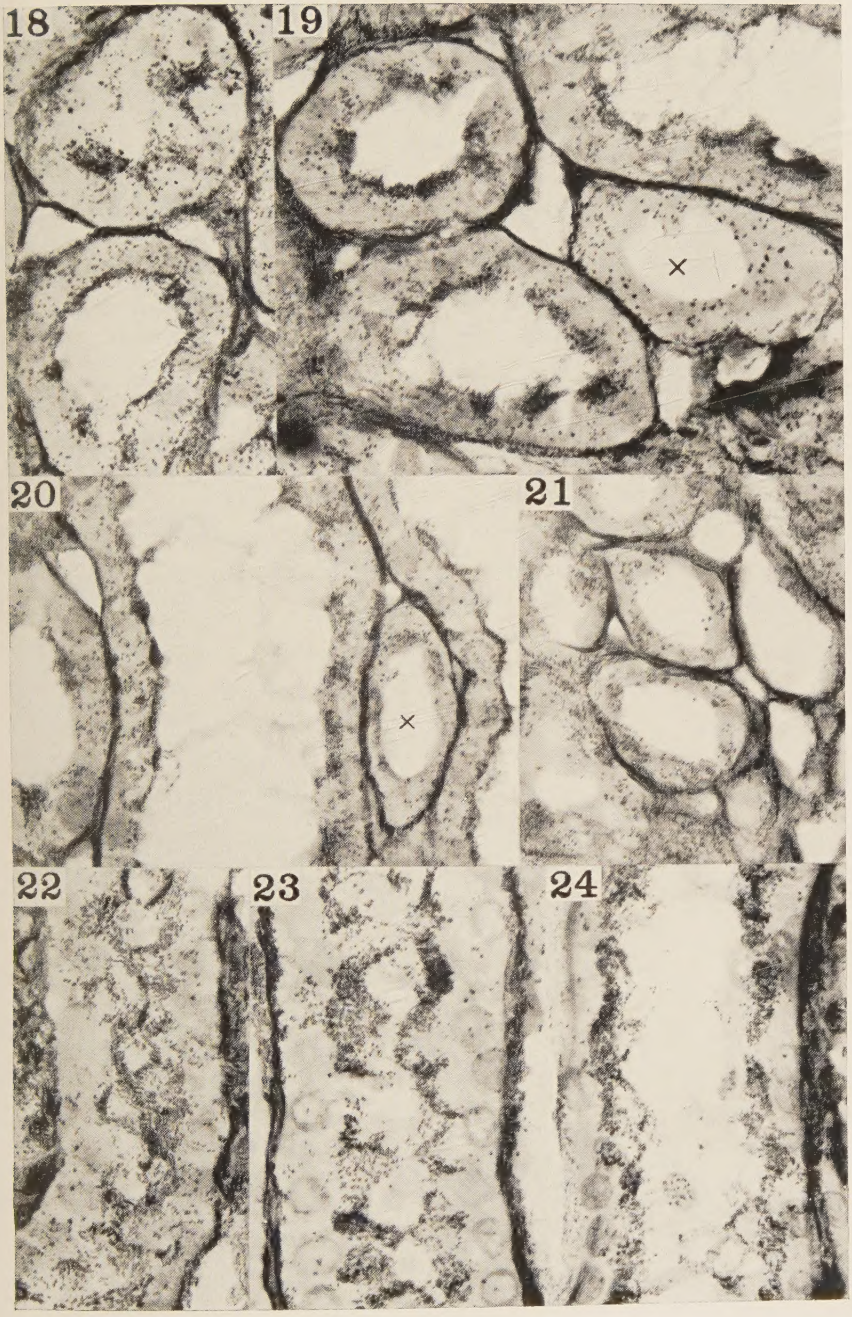
Abb. 18. Kaliumreaktion in der Rinde einer normal tätigen Niere, gewundene Teile des Hauptstückes im Querschnitt. Im oberen Kanälchen ist das Lumen eng, das Kalium liegt in einigen Zellen apikal gehäuft, im unteren Kanälchen ist das Lumen weit und das Kalium gleichmässig über die Zelleibe verteilt mit leichter Vermehrung nahe dem Lumen. Kaliumpositiv sind auch die Basalmembranen.

Abb. 19. Kaliumreaktion in der Rinde einer normal tätigen Niere. Aehnliche Kaliumverteilung in gewundenen Teilen des Hauptstückes wie in Abb. 18; das im Lumen mit einem x versehene Kanälchen gehört den gewundenen Teil des Mittelstückes an, es besitzt sehr wenig diffus verteilte Kalium in den Zellen.

Abb. 20. Kaliumreaktion in der Rinde einer Niere mit gesteigerter Harnabscheidung. Im Lumen des weiten, längsgetroffenen Hauptstückes vorhandene Gerinnsel sind kaliumfrei; in den niedrigen Zellen ist die Kaliummenge im ganzen gering und stellenweise lumenseitig gehäuft oder wenigstens apikal stärker vorhanden als im übrigen Zelleib. Der durch ein bezeichnete gewundene Teil eines Mittelstückes hat kaliumarme Zellen.

Abb. 21. Kaliumreaktion im Markstrahl einer normal tätigen Niere. Querschnitte durch gerade Teile des Mittelstückes zeigen geringe Mengen von Kalium diffus in den Zellen verteilt.

Abb. 22—24. Kaliumreaktion in geraden Teilen des Hauptstückes. Drei verschiedene Stadien der Lumenweite. Abb. 22 und 23 von einer normal tätigen Niere, Abb. 24 von einer Niere mit gesteigerter Harnausscheidung. Lumenseitige Anhäufung des Kaliums ohne deutliche Unterschiede der in den Zellen oder in der Lichtung vorhandenen Kaliummenge.


18
19
20
21
22
23
24